



Paula Braga Adler Pereira

**MAPEAMENTO GEOQUÍMICO E ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO
DE ELEMENTOS QUÍMICOS NOS SOLOS DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

UFRJ
Rio de Janeiro
2013



UFRJ

Paula Braga Adler Pereira

**MAPEAMENTO GEOQUÍMICO E ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS
QUÍMICOS NOS SOLOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientador(es):

Prof. Dra. Cícera Neysi de Almeida

Rio de Janeiro

Janeiro de 2013

BRAGA, Paula.

Mapeamento Geoquímico e Análise da Distribuição de Elementos Químicos nos Solos do Estado do Rio de Janeiro/ Paula Braga Adler Pereira- - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2013.

xx, 058 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2013.

Orientador: Cícera Neysi de Almeida

1. Geologia. 2. Setor de Mineralogia e Petrologia. Trabalho de Conclusão de Curso. I. Cícera Neysi de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

Paula Braga Adler Pereira

MAPEAMENTO GEOQUÍMICO E ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE ELEMENTOS
QUÍMICOS NOS SOLOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientador(es):

Cícera Neysi de Almeida

Aprovada em:

Por:

Orientador: Dra. Cícera Neysi de Almeida (UFRJ)

Dr. Everton Marques Bongioiolo

Dr. Julio Cezar Mendes

UFRJ
Rio de Janeiro
2013

Dedico todos os meus esforços a Deus, a Suprema Personalidade, que também se manifesta em todos os seres e coisas, que é onipresente e onipenetrante.

Agradecimentos

Agradeço a minha orientadora Cícera Neysi de Almeida, pela atenção e pela paciência durante a produção do presente trabalho e de todos os anteriormente realizados, desde 2011, que vieram a servir como base e como estímulo para o desenvolvimento deste e do mestrado que virá como aprofundamento e complemento.

Ao Allan Gomes, meu grande amigo e companheiro de trabalho, que produziu junto comigo, dentro deste mesmo tema, diversos trabalhos: para jornadas de iniciação científica, congresso e simpósio. Todas essas produções foram essenciais para chegar aos resultados deste trabalho.

A toda equipe da CPRM que, juntamente com a Professora Cícera, realizou a coleta das amostras de solo por todo o estado.

A todos os professores do departamento que transmitiram a mim seus conhecimentos sobre geologia e sobre a vida, suas experiências. Esta partilha foi essencial para a minha formação como geóloga e para o meu caminho pessoal.

A minha família, começando pela minha mãe, Fátima Branquinho, que sempre me apoiou em todos os setores da vida e que muito me aconselhou e me instruiu. Agradeço principalmente pela injeção de ânimo e pelos excelentes conselhos (que advêm de sua grande experiência como professora universitária), que me ajudaram a alcançar a conclusão deste trabalho e deste curso com tranquilidade, harmonia e alegria.

Ao meu irmão Thiago Branquinho, pelo amor manifestado em formas criativas para me incentivar a trabalhar, tanto no presente trabalho como nos outros tantos que realizei durante o curso.

Ao meu namorado, Daniel Oliveira, que prestou ajuda inestimável na listagem das infindáveis referências bibliográficas; que foi mais um (e essencial) olhar atento a revisar o texto; e, que neste momento de finalização e de recomeço - e não só neste! - se fez tão presente e companheiro, me incentivando, me alegrando, contribuindo com seu vasto conhecimento geológico e renovando minhas ideias (e a mim mesma).

Agradeço, acima de tudo, ao Universo, que é tão generoso comigo.

*A última função da razão é reconhecer que há
uma infinidade de coisas que a ultrapassam.*

Blaise Pascal

Resumo

BRAGA, Paula. **Mapeamento Geoquímico e Análise da Distribuição de Elementos Químicos nos Solos do Estado do Rio de Janeiro**. Ano. 2013, 58 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Este trabalho está inserido no programa Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade do Estado do Rio de Janeiro, realizado em parceria com a CPRM. Foram coletadas 58 amostras de solo em todo o estado, uma amostra em cada folha 1:50000, e, posteriormente, foram determinados os teores de 53 elementos químicos pelo método ICP-MS/AES com digestão por água régia. Foram analisados os elementos K, Li, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Hg, Al, Sn, Pb, P, As, U e Th, que além de serem utilizados como indicadores de riscos ambientais constituem indicadores de importantes mineralizações de metais. Foi estabelecida comparação, nos pontos onde se verificou anomalias (valores acima ou abaixo do background regional), com os limites estabelecidos pela CETESB (2001), considerando-os como valores de alerta, valores de prevenção, investigação (CONAMA, 2005) e com valores de abundância no solo e na crosta terrestre. Apenas para o cromo, o cobre e o níquel foram constatados teores maiores do que os valores de alerta. Para os demais elementos, verificaram-se teores abaixo dos valores limítrofes indicando baixos riscos de contaminação ambiental e à saúde humana e da biota. O mapeamento geoquímico também apontou a possibilidade de novas ocorrências minerais dos tipos Fe-Cr-Ni-Ti, Fe-Ti-V e Al-K-Li-Sn e a necessidade detalhamento de depósitos já existentes, e atualmente, inativos.

Palavras-chave: Mapeamento Geoquímico; Solos; Estado do Rio de Janeiro.

Abstract

BRAGA, Paula. **Geochemical mapping and chemical element distribution analysis in soils of Rio de Janeiro state**. Ano. 2013, 58 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A low-density geochemical mapping was conducted in Rio de Janeiro state. Fifty-eight (58) soil samples were collected in a regular mesh and sent to chemical analysis, in order to determinate the concentration of 53 chemical elements (ICP-MS/AES and aqua regia digestion). This report aims discussing the distribution of the follow elements: K, Li, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Hg, Al, Sn, Pb, P, As, U and Th. More than pointers of environmental risks, these elements constitute important indicators of metal mineralization. In areas where there have been noticed anomalies, comparison was established between the chemical contents and critical alert, prevention and investigation values (CONAMA, 2005) and natural abundance in soil and crust. Only for Cr and Ni were obtained higher contents than alert values. For the other elements, there were verified only contents lower than critical values, suggesting low environmental risks of contamination and also low risks to human health and biota. The geochemical mapping pointed, in addition, the possibility of new mineral occurrences of Fe-Cr-Ni-Ti, Fe-Ti-V and Al-K-Li-Sn types and the necessity of a deeper study on deposits already known but nowadays inactive.

Key-Words: Geochemical Mapping; Soil; Rio de Janeiro State

Lista de Figuras

Figura 3.1: Subdivisão do sistema orogênico neoproterozóico-cambriano que constitui a Província Mantiqueira

Figura 3.2: Mapa tectônico do Segmento Central do Sistema Orogrênico Mantiqueira e Seção estrutural composta do Orógeno Ribeira com a relação entre os diferentes terrenos e domínios estruturais

Figura 3.3: Mapa geológico simplificado do Orógeno Ribeira

Figura 4.1: Uso das terras por região no Brasil

Figura 5.1: Mapa de distribuição de Ag (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.2: Mapa de distribuição de Al (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.3: Mapa de distribuição de As (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.4: Mapa de distribuição de Cd (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.5: Mapa de distribuição de Cr (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.6: Mapa de distribuição de Cu (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.7: Mapa de distribuição de Fe (%) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro

Figura 5.8: Mapa de distribuição de Hg (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.9: Mapa de distribuição de K (%) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.10: Mapa de distribuição de Li (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.11: Mapa de distribuição de Mn (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.12: Mapa de distribuição de Ni (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.13: Mapa de distribuição de P (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.14: Mapa de distribuição de Pb (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.15: Mapa de distribuição de Sn (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.16: Mapa de distribuição de Th (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.17: Mapa de distribuição de Ti (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 5.18: Mapa de distribuição de U (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro

Figura 5.19: Mapa de distribuição de V (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro

Figura 5.20: Mapa de distribuição de Zn (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 6.1: Mapas de distribuição dos elementos Fe, Cr, Ni e Ti nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias destes elementos em um ponto comum, na folha Barra do Piraí.

Figura 6.2: Mapas de distribuição dos elementos Fe, Ti e V nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias destes elementos em um ponto comum, na folha Santo Antônio de Pádua.

Figura 6.3: Mapas de distribuição dos elementos Al, K, Li e Sn nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias de duas subassociações, nas folhas Casimiro de Abreu e Barra do Piraí.

Figura 6.4: Mapas de distribuição dos elementos Cu, Pb e Zn nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias destes elementos em um ponto comum, na folha Casimiro de Abreu.

Figura 6.5: Mapas de distribuição dos elementos Ag, Cd, Hg e As nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias nas folhas Campos e São Fidélis.

Figura 6.6: Mapa de localização dos aterros sanitários em operação no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 6.8: Mapas de distribuição dos elementos Th e U nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias destes elementos em um ponto comum, na região de Itaguaí.

Figura 6.9: Mapa com as principais faixas manganésíferas e grafitosas do Sudeste do Brasil.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Valores de alerta, de prevenção e de investigação para os elementos arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, prata, vanádio e zinco.

Tabela 2: Valores de abundância relativa nos solos para os elementos lítio, estanho, titânio, urânio e vanádio.

Tabela 3: Conteúdo total de potássio nos solos.

Tabela 4: Background analítico dos elementos alumínio, ferro e fósforo, calculado segundo Licht (1998).

Tabela 5: Extensão e distribuição dos solos no Brasil e nas suas regiões.

Sumário

| | |
|--|------|
| Agradecimentos | vi |
| Resumo | viii |
| <i>Abstract</i> | ix |
| Lista de figuras | x |
| Lista de tabelas | xii |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. METODOLOGIA | 3 |
| 3. GEOLOGIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO | 7 |
| 3.1. Contexto Geotectônico..... | 7 |
| 3.1. As Rochas do Estado do Rio de Janeiro..... | 9 |
| 4. SOLOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO | 13 |
| 5. RESULTADOS | 18 |
| 6. DISCUSSÕES | 38 |
| 6.1. Associação Fe-Cr-Ni-Ti | 38 |
| 6.2. Associação Fe-Ti -V | 39 |
| 6.3. Associação Al-K-Li-Sn | 40 |
| 6.4. Associação Cu-Pb-Zn | 41 |
| 6.5. Ocorrências associadas a depósitos de Sulfetos ou do tipo hidrotermal | 42 |
| 6.6. Urânio | 43 |
| 6.7. Fósforo | 44 |
| 6.8. Tório | 45 |
| 6.9. Manganês | 46 |
| 7. CONCLUSÕES..... | 47 |
| Referências bibliográficas | 48 |

1. INTRODUÇÃO

Os debates e resultados dos projetos IGCP (International Geological Correlation Project) 259 e 360 (1988; 1993-1997, respectivamente) levaram a um consenso na comunidade interessada no que se refere aos efeitos danosos dos elementos químicos disponibilizados no ambiente à saúde humana, animais, agricultura e ecossistemas, em geral. O crescimento rápido da população global, estimada na ordem de 10-12 bilhões de pessoas em 2050, aliado às mudanças econômicas, intensificarão problemas como a degradação e a poluição dos solos, em decorrência da urbanização e industrialização não controladas, práticas agrícolas intensivas e super-exploração dos aquíferos.

Segundo Darnley *et al.* (1995), o mapeamento geoquímico sistemático é o melhor método para avaliar e fornecer uma base para o monitoramento de mudanças nos teores dos elementos químicos na superfície da Terra e pode ser aplicado a diversas áreas, como a prospecção geoquímica, por exemplo.

Como um sistema geoquímico é aberto, ocorre troca de matérias com o seu entorno. O Planeta Terra, constituindo-se um grande sistema geoquímico, nunca estará em estado de equilíbrio. Devemos estar preparados para os excedentes naturais ou antropogênicos.

A química das rochas controla a composição dos solos, das águas e da vegetação. Poluição, insumos advindos da exploração mineral, pesticidas, dentre outras atividades, distorcem os sistemas geoquímicos naturais. Portanto, o levantamento geoquímico de solos, águas (de rios e poços) e plantas indica como os elementos maiores, menores e traço estão distribuídos geograficamente, contribuindo com a identificação de problemas relacionados à geologia de depósitos minerais, agricultura, e saúde pública, esta última enfatizada por Figueiredo (2008) quando afirma que além da exposição humana a substâncias tóxicas em áreas contaminadas, existem processos naturais em determinados locais que podem ser

responsáveis pela prevalência de doenças, mas cuja relação não é conhecida. O mapeamento geoquímico tem o papel de revelar a existência ou não de uma conexão entre esses fatores geológicos naturais e efeitos adversos à saúde, trazendo à luz possíveis ameaças.

Ainda segundo Figueiredo (2008), o Brasil não dispõe de um levantamento da composição química de seus solos e águas, existindo ações de mapeamento pontuais no Paraná, em Pernambuco e no Pará, carecendo de um estudo mais sistemático de todo o seu território.

Recentemente, o Programa Levantamento Geoquímico iniciado pela CPRM/Serviço Geológico do Brasil em 2008 tem realizado mapeamento geoquímico de baixa densidade em todo território nacional e apresentado resultados parciais para os estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Roraima (Viglio & Cunha, 2010; Andretta *et al.*, 2011; Franzen *et al.*, 2011; Lima *et al.*, 2011; Viglio, 2013).

No que se refere ao estado do Rio de Janeiro há uma grande produção de trabalhos abordando principalmente o tema metais pesados e contaminação de solos em áreas isoladas nos municípios de Campos dos Goytacazes, Queimados, Itatiaia, Paty do Alferes, Angra dos Reis, na baía de Sepetiba e na baía da Guanabara, entre outros (Ramalho & Sobrinho, 2001; Santos, 2011; Costa, 2009; Santos *et al.*, 2002; Barcellos, 1995; Ferreira, 2010). No entanto, nenhum trabalho abordando geoquímica multielementar nem cobrindo todo o estado do Rio de Janeiro havia sido realizado. Nesse contexto, o presente trabalho tem por finalidade mostrar os resultados da geoquímica multielementar de amostragem de baixa densidade realizada no estado do Rio de Janeiro, realizando um estudo de distribuição espacial de diversos elementos químicos e a interpretação das fontes daqueles que foram identificados em concentrações anômalas. Serão discutidos os elementos K, Li, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Hg, Al, Sn, Pb, P, As, U e Th, que além de serem utilizados como indicadores de riscos ambientais constituem indicadores de importantes mineralizações de metais.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho constou das etapas descritas a seguir.

Levantamento bibliográfico - foram levantadas junto ao acervo cartográfico da CPRM as cartas topográficas (escala 1:250.000) que cobrem todo o estado do Rio de Janeiro. Essas cartas foram utilizadas na elaboração das etapas de campo, dando subsídio à localização dos pontos a serem amostrados. Nesta fase foram também levantadas, junto ao acervo da CPRM, as cartas topográficas (escala 1:100.000) que abrangem toda a cobertura do estado do Rio de Janeiro, como também cartas topográficas 1:50.000 disponíveis na *homepage* do IBGE. Essas cartas foram georreferenciadas e utilizadas na espacialização dos dados levantados nas diversas etapas do trabalho.

Coleta de Amostras - A malha de amostragem para a coleta de solos, compreendeu 1 amostra/750 km², o que correspondeu a uma amostra em cada folha 1:50.000, coletada, preferencialmente, na parte central destas. As amostras são do tipo compostas e coletadas com trado manual de inox a profundidade de 5 a 30 cm, sendo acondicionadas em sacos plásticos identificados sequencialmente e devidamente lacrados. Foram coletadas amostras duplicatas, para cerca de 10% do total (correspondendo à amostragem dupla a cada dez amostras) em locais próximos da amostra original.

Análise química - Os elementos K, Li, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Hg, Al, Sn, Pb, P, As, U e Th foram analisados pelo método ICP-MS/AES com digestão por água régia no Geosol Laboratórios Ltda (Goiânia, Brasil).

Elaboração de mapas de isotores - Os mapas de isotores foram elaborados utilizando-se o *software* ArcGIS, versão 9.3. Nesta fase foi elaborado um banco de dados no *software* Excel, versão 2007, que contém diversas informações, como as coordenadas de cada ponto de amostragem, sua descrição, os resultados de cada elemento químico analisado. Os

dados contidos nestas tabelas alimentaram o SIG do presente projeto e foram utilizadas para a elaboração dos referidos mapas.

Determinação de *background* (orientadores de qualidade do solo) - o *background* geoquímico natural (litogênico) foi calculado a partir dos valores médios das concentrações dos elementos nos solos coletados. As anomalias geoquímicas foram avaliadas por meio de coeficientes de variação e frequências cumulativas relativas. Dessa forma o *background* considerado para um determinado elemento foi o indicado por Maranhão (1985), através do cálculo da média geométrica de todos os teores obtidos para cada elemento considerado.

De acordo com a resolução 420/2009 do CONAMA, a avaliação da qualidade de solo, quanto à presença de substâncias químicas, deve ser efetuada com base em Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação. Entende-se, assim:

Valores Orientadores: são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea;

Valor de Referência de Qualidade-VRQ: é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;

Valor de Prevenção-VP: é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais de acordo com o art. 3º;

Valor de Investigação-VI: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

Um termo bastante utilizado por MINEROPAR (2005) é o **valor de alerta**, considerado importante para esboçar algumas áreas onde a presença de metais potencialmente perigosos pode constituir risco à biota, enfatizando, entretanto, a necessidade de estudos para determinação de biodisponibilidade. Para esse tipo de diagnóstico o supracitado autor utiliza

os limites de CETESB (2001) que para vários elementos tem valores semelhantes aos de prevenção determinados pelo CONAMA (tabela 1).

No presente trabalho, inicialmente, foram identificadas anomalias (valores acima ou abaixo do *background* regional). Os teores dos elementos nos pontos de anomalia foram, então, comparados com valores de alerta disponíveis na literatura (tabela 1). No entanto, para aqueles elementos cujos valores de alerta não se encontram disponíveis, foi utilizada a abundância relativa nos solos (tabelas 2 e 3). E, ainda, para os quais não há nenhum desses dois valores de referência disponíveis, a comparação foi balizada pelo *background* analítico da área (tabela 4), calculado segundo Maranhão (1985). A seguir, procedeu-se a comparação com os mapas geológicos da área e dados analíticos de rochas disponíveis na literatura. Para aquelas anomalias que não puderam ser associadas a uma fonte natural, investigou-se a possibilidade de contaminação por fontes antrópicas.

Tabela 1 – Valores de alerta, de prevenção e de investigação para os elementos arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, prata, vanádio e zinco (CONAMA, 2009; CETESB, 2001):

| Substância | Valor de Alerta (ppm) | Valor de Prevenção | Valor de investigação | | |
|------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|------------|-------------|
| | | | Agrícola APM _{ax} | Industrial | Residencial |
| Arsênio | 15 | 15 | 35 | 55 | 150 |
| Cádmio | 3 | 1,3 | 3 | 8 | 20 |
| Chumbo | 100 | 72 | 180 | 300 | 900 |
| Cobre | 60 | 60 | 200 | 400 | 600 |
| Cromo | 75 | 75 | 150 | 300 | 400 |
| Mercúrio | 0,5 | 0,5 | 12 | 36 | 70 |
| Níquel | 30 | 30 | 70 | 100 | 130 |
| Prata | 2 | 2 | 25 | 50 | 100 |
| Vanádio | - | | | | 1000 |
| Zinco | 300 | 300 | 450 | 1000 | 2000 |

Tabela 2 – Valores de abundância relativa nos solos para os elementos lítio, estanho, manganês, titânio, tório, urânio e vanádio, por Levinson (1980).

| Substância | Abundância Relativa nos Solos (ppm) |
|-------------------|--|
| Lítio (Li) | 200 |
| Estanho (Sn) | 10 |
| Manganês (Mn) | 850 |
| Titânio (Ti) | 5000 |
| Tório (Th) | 13 |
| Urânio (U) | 1 |
| Vanádio (V) | 500 |

Tabela 3 – Conteúdo total de potássio nos solos, segundo Sparks (2001):

| Substância | Conteúdo total de K nos solos (%) |
|-------------------|--|
| Potássio (K) | 0,15 – 5 |

Tabela 4 – *Background* analítico dos elementos alumínio, ferro e fósforo, calculado segundo Licht (1998):

| Substância | <i>Background</i> da área |
|-------------------|----------------------------------|
| Alumínio (Al) | 1,82 % |
| Ferro (Fe) | 2,72 % |
| Fósforo (P) | 216 ppm |

3. GEOLOGIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

3.1. Contexto Geotectônico

A área estudada está inserida no Orógeno Ribeira (figura 3.1) que, juntamente com outros orógenos (Araçuaí, Dom Feliciano, São Gabriel e zona de interferência entre as Faixas Ribeira e Brasília) faz parte da Província/Sistema Orogênico Mantiqueira, cuja história evolutiva está associada à Orogênese Brasileira/Pan-Africana (Almeida *et al.*, 1981; Heilbron *et al.*, 2004; Hackspacher *et al.*, 2004).

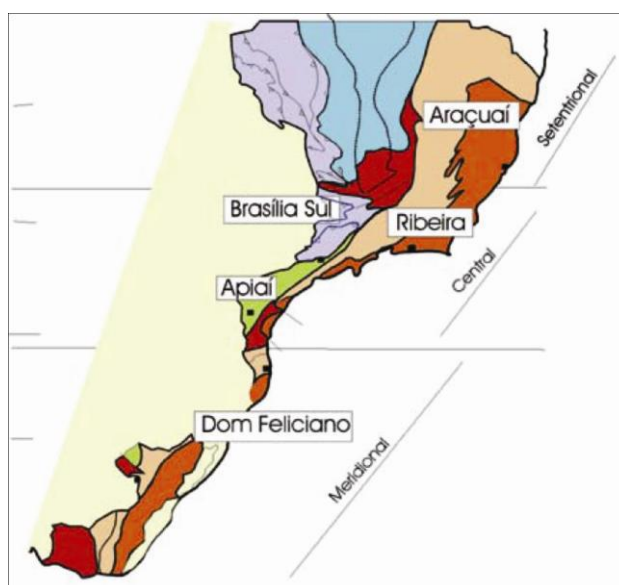


Figura 3.1: Subdivisão do sistema orogênico neoproterozóico-cambriano que constitui a Província Mantiqueira: o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. As cores roxo e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magmáticos neoproterozóicos (Heilbron *et al.*, 2004).

A Faixa Ribeira (Cordani *et al.*, 1973), posteriormente designado por Orógeno Ribeira (Heilbron *et al.*, 2000), compreende um complexo cinturão de dobramentos e empurrões que se estende na direção NE-SW por cerca de 1.400 km, e juntamente com a sua continuidade norte, a Faixa Araçuaí, posicionam-se na borda sudeste e sul-sudeste do Cráton São Francisco (Almeida *et al.*, 1977). É dividido em cinco terrenos tectono-estratigráficos (figura 3.2)

denominados de oeste para leste de Terreno Ocidental, Terreno/*Klippe* Paraíba do Sul, Terreno Oriental e Terreno Cabo Frio, separados por falhas de empurrão ou por zonas de cisalhamento oblíquas (Heilbron, 1993; Heilbron *et al.*, 1995; 1998; 2000; 2004).

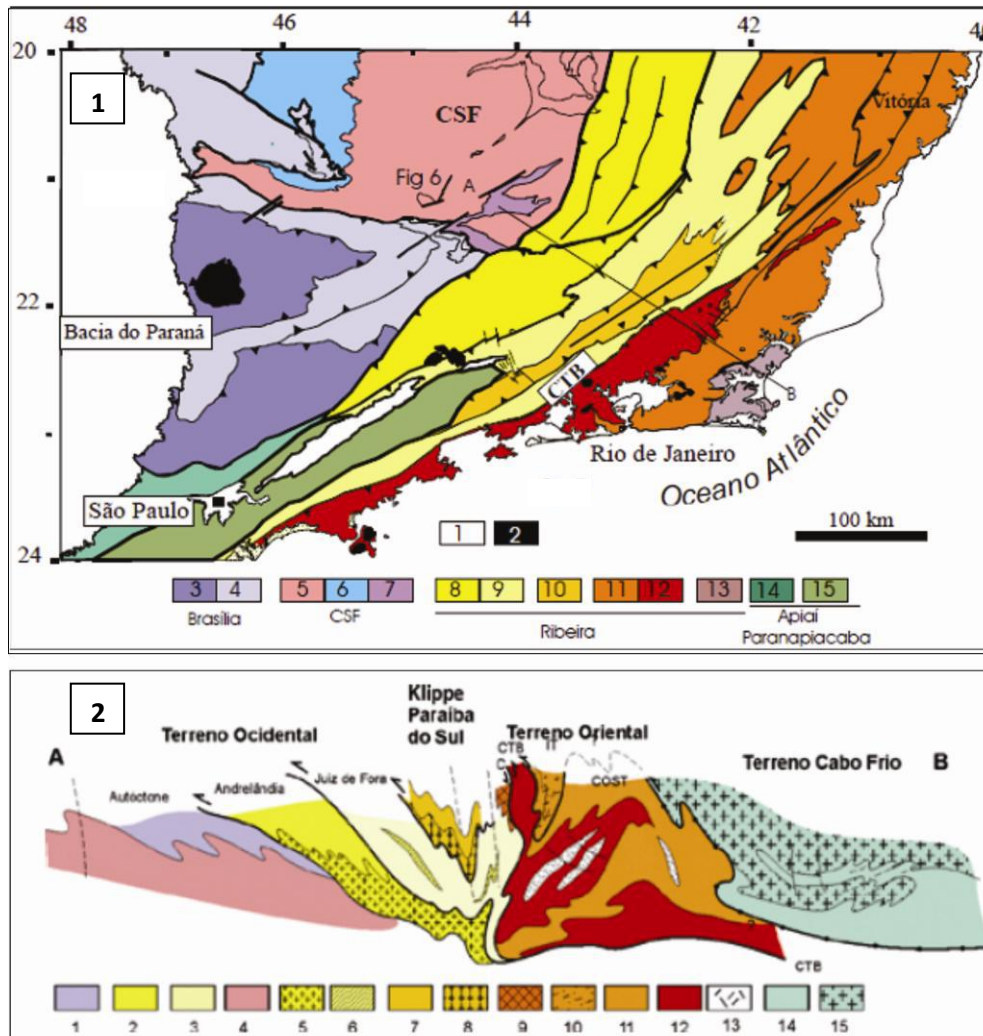


Figura 3.2: 1) **Mapa tectônico do Segmento central do Sistema Orogênico Mantiqueira.** 1- Riftes Cenozoicos; 2- Rochas alcalinas do Cretáceo e Terciário; Orógeno Brasília (3-4); 3- *Nappes* Inferiores; 4- *Nappes* Superiores; 5- Embasamento do CSF e domínio autóctone; 6- Supergrupo São Francisco; 7- Metassedimentos do Domínio Autóctone; Orógeno Ribeira (8-13); 8- Domínio Andreilândia e 9- Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental; 10- *Klippe* Paraíba do Sul; 11- Terreno Oriental; 12- Granitóides do Arco Magmático Rio Negro; 13- Terreno Cabo-Frio; Orógeno Apiaí/Paranapiacaba (14-15); 14- Terrenos São Roque e Açunguá; 15- Terreno Embu. 2) **Seção estrutural composta do Orógeno Ribeira com a relação entre os diferentes terrenos e domínios estruturais.** Terreno Ocidental (1-6): 1 a 3- Megassequência Andreilândia nos domínios Autóctone, Andreilândia e Juiz de Fora, Terreno Ocidental; 4 a 6- Associações do embasamento (Complexos Barbacena, Mantiqueira e Juiz de Fora); Terreno Paraíba do Sul (7-8): 7- Grupo Paraíba do Sul; 8- Complexo Quirino; Terreno Oriental (9-13): 9- Sequência Cambuci; 10- Sequência Italva; 11- Sequência Costeiro; 12-Arco Magmático Rio Negro; 13- Granitos colisionais; Terreno Cabo Frio (14-15): 14-Sequências Búzios e Palmital; 15-Complexo Região dos Lagos (Heilbron *et al.*, 2004).

Sua evolução está relacionada à convergência do Cráton São Francisco com outras placas e microplacas localizadas a leste (Campos Neto & Figueiredo, 1995; Heilbron *et al.*, 1998; 2000) registrando-se dois eventos colisionais.

O Evento I, no âmbito da Orogênese Brasileira (630-550 Ma) foi marcado pela colisão entre o Cráton do São Francisco e o Terreno Oriental, incorporando ao novo continente o Arco Magmático Rio Negro, gerado durante a subducção destas duas placas (Heilbron & Machado, 2003). O Evento II, conhecido como Orogênese Búzios, transcorrido entre 525-495 Ma (Schmitt *et al.*, 2004; Heilbron *et al.* 2004) resultou na acreção do Terreno Cabo Frio ao Terreno Oriental.

O Terreno Ocidental compreende um domínio autóctone considerado como margem retrabalhada do Cráton São Francisco e dois sistemas de empurrão com vergência para noroeste, representados pelos domínios Andrelândia e Juiz de Fora, os quais são separados por zonas de cisalhamento e compostos por rochas Paleoproterozóicas do embasamento sobrepostas por sequências supracrustais Meso a Neoproterozóicas (Heilbron *et al.*, 1998, Ribeiro *et al.*, 1995; Paciullo *et al.*, 2000).

O Terreno Cabo Frio é composto de rochas supracrustais Neoproterozóicas-Cambrianas, intercaladas tectonicamente a baixo ângulo com rochas retrabalhadas do embasamento Paleoproterozóico (Schmitt *et al.*, 2008).

3.2. As rochas do Estado do Rio de Janeiro

Os teores de elementos químicos nos solos refletem os teores do material de origem, com exceção dos casos de intensa deposição por uma fonte antrópica (Oliveira, 1999). No estudo de distribuição de elementos químicos e na análise de suas possíveis fontes é, então, de suma importância considerar os tipos de rocha aflorantes na região de amostragem dos solos.

As rochas do Estado do Rio de Janeiro passaram por longa e complexa evolução diacrônica durante o Neoproterozóico (900-520 Ma), guardando o registro do Ciclo Brasileiro descrito por Almeida (1967) e preservando como núcleos unidades paleotectônicas de idades arqueana, paleoproterozóica e mesoproterozóica (Delgado *et al.*, 2003).

Cinco associações litológicas constituem o embasamento das bacias mesoproterozóicas e neoproterozóicas no Orógeno Ribeira e na porção sul do Orógeno Brasília, segundo Heilbron *et al.* (2004). São elas:

a) Faixas arqueanas do tipo greenstone belt, de direção NE-SW, afloram no Domínio Autóctone. São constituídas por rochas máficas e ultramáficas, de origem vulcânica e subvulcânica, metassedimentares com variado grau de deformação e metamorfismo de fácies xisto verde a anfibolito.

b) Rochas ígneas de caráter bimodal com idade entre 2,22 - 2,12 Ga, intrusivas nas faixas tipo greenstone belt, ocorrem no Domínio Autóctone, em uma região denominada de Cinturão Mineiro. Esta associação consiste em gabros, dioritos, granitóides e subvulcanitos félsicos, intermediários e máficos, metamorfizados em xistos e em gnaisses, em fácies de xisto verde a anfibolito baixo. As rochas subvulcânicas e vulcânicas possuem composições entre riolito e basalto.

c) Ortognaisses migmatíticos, granitóides e metabasitos, com idades arqueanas (2,8 - 2,7 Ga) a paleoproterozóicas (2,2 - 2,0 Ga). Alguns autores reportam um episódio metamórfico em cerca de 2,06 - 2,05 Ga. Os ortognaisses são tonalíticos a graníticos e subordinadamente trondhjemíticos. Dados químicos e isotópicos sugerem ambiente de arco cordilherano no Paleoproterozóico. Estes complexos possuem diversas denominações, tais como Mantiqueira, Piedade, Campos Gerais e Amparo.

d) Ortogranulitos paleoproterozóicos integram um conjunto muito heterogêneo denominado Complexo Juiz de Fora. Os protólitos deste complexo incluem granitóides

cálcioalcalinos representantes de arco magmático cordilherano e de arco de ilhas, e granitos colisionais (2,14 e 2,07 Ga). Os metabasitos podem ser agrupados em duas suítes. Uma delas tem tendência alcalina e é típica de ambiente intraplaca (cerca de 1,7 Ga), enquanto a outra, mais heterogênea, é formada por rochas toleíticas com assinaturas típicas de ambientes convergentes, que variam de E-MORB a toleítos de arco (2,4 Ga). Dados isotópicos Sm-Nd sugerem contribuição juvenil para as rochas cálcio-alcalinas (TDM: 2,22 - 2,13 Ga).

e) Hornblenda ortognaisses paleoproterozóicos denominados de complexos Quirino e Região dos Lagos ocorrem nos terrenos Paraíba do Sul e Cabo Frio. O Complexo Quirino (2,19 e 2,17 Ga) compreende granitóides tonalítico-granodioríticos com enclaves de rochas meta-ultramáficas, metamáficas e cálcio-silicáticas (ricas em tremolita). O Complexo Região dos Lagos (cerca de 1,9 Ga) compreende ortognaisses tonalíticos a graníticos, com enclaves dioríticos e muitas lentes decamétricas de anfibolitos (diques básicos desmembrados). Idades-modelo Sm-Nd sugerem tanto refusão de crosta arqueana como acreção juvenil no Paleoproterozóico.

Sobre o embasamento da região paleocontinental do São Francisco desenvolveram-se, no final do Paleoproterozóico e durante o Mesoproterozóico, duas bacias intracontinentais: São João del Rei e Carandaí, localizadas no Estado de Minas Gerais.

A maior parte das associações metassedimentares neoproterozóicas do Orógeno Ribeira, bem como da extremidade sul do Orógeno Brasília, representam depósitos sedimentares de margem passiva. Entretanto, na porção interna do Orógeno Ribeira e nas Nappes Superiores do Orógeno Brasília (terrenos Oriental e Cabo Frio, e Nappe Socorro-Guaxupé) existem seqüências que parecem ter sido depositadas durante a Orogênese Brasileira, em bacias de ante-arco e retro-arco (Heilbron *et al.*, 2004).

Além de rochas que são embasamento das bacias Meso e Neoproterozóicas, e das próprias bacias em questão, o Estado do Rio de Janeiro é constituído por rochas ígneas Brasileiras sin a pós-

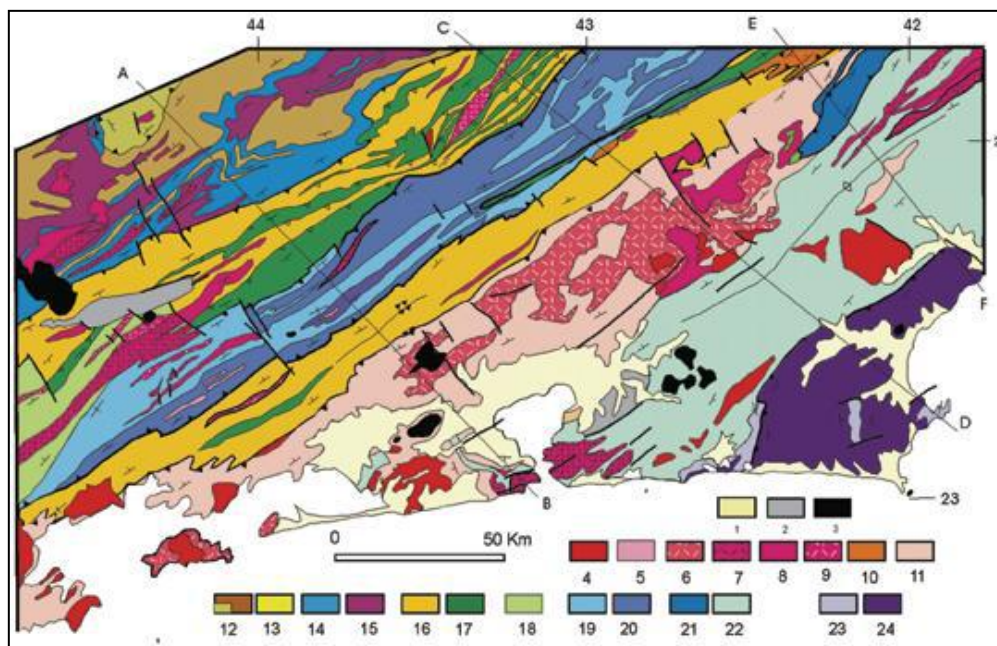


Figura 3.3: Mapa geológico simplificado do Orógeno Ribeira, extraído de Heilbron *et al.*, 2004. Legenda 1-Sedimentos quaternários, 2-Sedimentos terciários, 3-Rochas alcalinas cretáceas/terciárias, 4-Granitóide Brasilanos sin a pós-colisionais (4-9)- 4-Biotita granitos póscolisionais (510-480 Ma, G5), 5-Granitos contemporâneos às ZCs D3 (535-520 Ma, G4), 6-granitos e charnockitos tardi-colisionais (ca. 560 Ma, G3); 7-Granitos porfiróides sin-colisionais (590-560 Ma); 8-Leucogranitos e charnockitos tipo S ou híbridos sin-colisionais (ca. 580 Ma, G2); granitóides com idade indeterminada (9-10); 9-Hornblenda granito gnaiss; 10-Suítas Anta e São Primo; 11-Arco magmático Rio Negro (790-620 Ma); Terreno Ocidental (12-17): Megassequência Andrelândia (12-14): 12-Sequência Rio do Turvo em fácies granulito de alta P; 13-Sequência Rio do Turvo; 14-Sequência Carrancas; 15-Complexo Mantiqueira; 16-Fácies distais da Megassequência Andrelândia no Domínio Juiz de Fora; 17-Complexo Juiz de Fora; 18-Complexo Embu indiviso; Terreno Paraíba do Sul (19-20): 19-Grupo Paraíba do Sul; 20-Complexo Quirino; Terreno Orinetal (21-22): 21-Sucessão metassedimentar Italva; 22-Sucessão metassedimentar Costeiro; Terreno Cabo Frio (23-24): 23-Sucessão Búzios e Palmital; 24-Complexo Região dos Lagos.

colisionais (granitóides), por rochas alcalinas cretáceas/terciárias e por sedimentos terciários e quaternários (figura 3.3).

Cada um dos litotipos apresentados e sua composição química original associada irão contribuir de forma diferente na formação dos solos. Entretanto, fatores como a variação das condições de Eh e pH, a presença de óxidos de Fe e Mn, matéria orgânica e argilominerais, com suas propriedades adsorptivas, afetam em maior ou menor grau a mobilidade e distribuição dos metais durante os processos pedogenéticos, e exercem um importante controle na composição final dos solos (Licht, 1998).

4. SOLOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

A região Sudeste como um todo é constituída de planaltos e áreas serranas com vários pontos de altitudes superiores a 2.000 metros. Possui clima tropical, com verões quentes nas baixadas e mais amenos nas áreas altimontanas, com predominância de solos bem desenvolvidos, geralmente de baixa fertilidade natural (GEO Brasil, 2002). Grande proporção dos solos desta região é do tipo Latossolo, representando 56,30%. O segundo tipo de solo mais abundante é o argissolo, correspondendo a 20,68% (tabela 5).

| Solos | Brasil | | Relativa por Regiões | | | | |
|--------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|------------------|-------------|---------|
| | Absoluta (Km ²) | Relativa ao Total (%) | Norte (%) | Nordeste (%) | Centro-Oeste (%) | Sudeste (%) | Sul (%) |
| Alissolos | 371,874,48 | 4,36 | 8,67 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,34 |
| Argissolos | 1,713,853,49 | 19,98 | 24,40 | 17,20 | 13,77 | 20,68 | 14,77 |
| Cambissolos | 232,139,19 | 2,73 | 1,06 | 2,09 | 1,59 | 8,64 | 9,28 |
| Chernossolos | 42,363,93 | 0,53 | 0,00 | 1,05 | 0,27 | 0,21 | 3,94 |
| Espodossolos | 133,204,88 | 1,58 | 3,12 | 0,39 | 0,26 | 0,37 | 0,00 |
| Gleissolos | 311,445,26 | 3,66 | 6,41 | 0,78 | 2,85 | 0,5 | 0,4 |
| Latossolos | 3,317,590,34 | 38,73 | 33,86 | 31,01 | 52,81 | 56,30 | 24,96 |
| Luvissolos | 225,594,90 | 2,65 | 2,75 | 7,60 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Neossolos | 1,246,898,89 | 14,57 | 8,49 | 27,55 | 16,36 | 9,38 | 23,23 |
| Nitossolos | 119,731,33 | 1,41 | 0,28 | 0,05 | 1,22 | 2,56 | 11,48 |
| Planossolos | 155,152,13 | 1,84 | 0,16 | 6,61 | 1,73 | 0,16 | 3,00 |
| Plintossolos | 508,539,37 | 5,95 | 7,60 | 4,68 | 8,78 | 0,00 | 0,00 |
| Vertissolos | 169,015,27 | 2,01 | 3,20 | 0,99 | 0,36 | 1,20 | 2,60 |
| Água | 160,532,30 | 1,88 | 3,20 | 0,36 | 0,31 | 1,20 | 2,60 |
| Total | 8,547,403,50 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Tabela 5: Extensão e distribuição dos solos no Brasil e nas suas regiões (GEO Brasil, 2002).

No Estado do Rio de Janeiro foram mapeados por CPRM (2000) diversos tipos de solo: latossolos, solos podzólicos, podzóis, bunizéns, planossolos, cambissolos, gleissolos, solos litólicos, solos aluviais, solos orgânicos e solos indiscriminados de mangue.

Filho *et. al.* (2000) descreveram os principais tipos de solos e respectivos locais de ocorrência dentro do estado do Rio de Janeiro. Os latossolos correspondem a solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte A. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos. São normalmente muito profundos, com espessura superior a 2m, com elevada permeabilidade. Apresentam sequencia de horizontes do tipo A-Bw-C, com reduzida quantidade de argila em profundidade. São classificados em função das características de cor, teor de ferro e, em

alguns casos, pelos valores do índice Ki do horizonte B, podendo ser denominados como: latossolo vermelho-escuro; latossolo amarelo; latossolo vermelho-amarelo; latossolo variação una.

Os solos podzólicos também são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural de coloração que varia de vermelha a amarela. Também são solos profundos, com sequência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C. São subdivididos em função de diferenças de cor e teor de ferro e as classes de ocorrência mais expressiva no estado do Rio de Janeiro são: podzólico vermelho-escuro; podzólico vermelho-amarelo; e, podzólico amarelo.

Podzóis hidromórficos estão relacionados aos sedimentos arenosos de origem marinha que constituem os cordões litorâneos. Têm ocorrência mais significativa de Mangaratiba para o norte, destacando-se o delta do Paraíba, onde ocorre em abundância. Ocorrem também no trecho entre Barra de São João e Armação dos Búzios.

Os solos bunizéns ocorrem com pouca frequência no estado, sua ocorrência está basicamente restrita ao norte, na região de Itaboraí. Também ocorrem em encostas acidentadas de algumas serras isoladas próximas a Campo Grande, município do Rio de Janeiro. Geralmente, ocorrem em associação com solos podzólicos vermelhos-escuros. Apesar dos elevados teores de bases trocáveis, esses solos apresentam, em geral, fortes restrições à exploração agrícola, referentes à deficiência de água ou ao relevo movimentado em que ocorrem.

Os planossolos ocorrem principalmente em algumas baixadas de relevo aplainado da região litorânea. Em geral, são solos de baixa fertilidade. Na região noroeste do estado ocupam áreas menos expressivas. Devido à sua posição topográfica, é comum ocorrer descontinuidade no material de origem, relacionado principalmente a sedimentos colúvio-aluvionares e gnaisses pré-cambrianos, recobertos por sedimentos arenosos pouco espessos.

Cambissolos são solos pouco evoluídos, de características bastante variáveis, mas em geral pouco profundos e com teores de silte relativamente elevados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A-Bi-C. Têm desenvolvimento incipiente, com pequena diferenciação entre os horizontes e características bastante influenciadas pelo material de origem. São o principal tipo de solo nas regiões serranas do estado. Ocorrem desde o norte da Serra do Mar, próximo ao rio Paraíba, até a divisa Rio de Janeiro - São Paulo. Também ocorrem na Serra da Mantiqueira, a norte de Resende. Como exceção, em situações não muito comuns, ocorrem em algumas baixadas fluviais, como ao longo do rio Paraíba do Sul e nas proximidades de Campos dos Goytacazes.

Os gleissolos são solos minerais, hidromórficos, com horizonte A ou H seguido de horizonte glei, ainda guardando algumas condições, como não ser simultâneo ao horizonte B textural, B nátrico ou plínico. São recentes, pouco evoluídos e originados de sedimentos de idade quaternária. São subdivididos de acordo com o tipo de horizonte superficial. Os que ocorrem do estado do Rio de Janeiro são os glei húmicos e os glei pouco húmicos.

Solos litólicos são minerais, rasos e pouco desenvolvidos. São constituídos por horizonte A desenvolvido diretamente sobre a rocha, ou sobre horizonte C ou B incipientes. É comum que tenham minerais primários, seixos ou calhaus. Sua ocorrência é comum nas escarpas da Serra do Mar, do maciço do Itatiaia e também junto a maciços rochosos na região serrana.

Solos aluviais se desenvolvem a partir de sedimentos aluviais recentes, do Quaternário. São identificados pela presença de estratificações de camadas que não têm relação genética entre si. Ocorrem de forma mais expressiva ao longo do baixo curso do Rio Paraíba do sul e nos altos cursos dos rios da baixada litorânea.

Os solos orgânicos apresentam camadas de constituição orgânica nos primeiros 40 cm do perfil de solo. Ocorrem em locais deprimidos da planície litorânea e são originados de acumulações orgânicas sobre sedimentos fluviais ou fluviomarinhas, de idade quaternária.

Os principais impactos sobre os solos são as possíveis contaminações pelo uso de defensivos agrícolas e a sobreutilização de terras de menor potencial agrícola, especialmente com pastagens. Na região sudeste, no ano de 2002, o maior uso do solo se dava por pastagens plantadas, seguida por pastagens naturais.

Toda e qualquer atividade humana leva à produção de resíduos (lixo urbano e industrial, esgotos etc.) cuja disposição inadequada tem causado problemas de contaminação ambiental. Entretanto, o país não dispõe de quantificações e estudos sistemáticos sobre a contaminação de solos, oriunda dessas atividades, nem tampouco a contaminação destes pela utilização de defensivos agrícolas na agricultura.

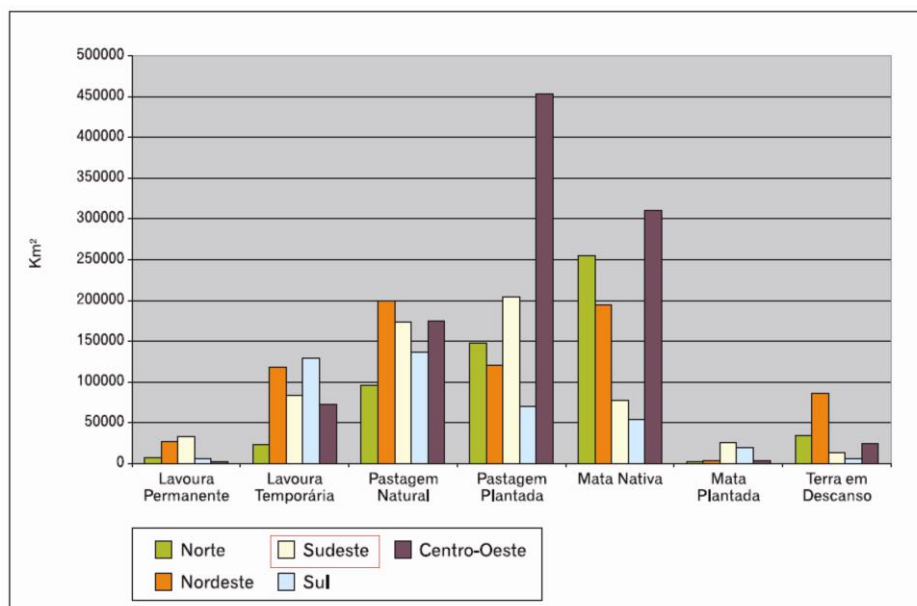


Figura 4.1: Uso das terras por região no Brasil (GEO Brasil, 2002).

Outra fonte de contaminação, também restrita ao entorno dos centros urbanos é o lixo urbano. Do lixo produzido, cerca de 13% é depositado em aterros controlados, 10% em aterros sanitários, 0,9% é submetido a compostagem e 0,1% é incinerado. O restante (76%) é depositado a céu aberto, nos chamados lixões (GEO Brasil, 2002). Esgotos urbanos, que são

um dos principais poluidores dos mananciais hídricos, também podem causar a contaminação de solos, quando despejados diretamente ou via extravasamento de rios e canais de esgotamento. Solos de várzeas nestas condições podem ser descaracterizados e/ou contaminados por agentes biológicos. Essa situação é relativamente comum nos grandes centros urbanos, onde se relata ainda o uso de irrigação, especialmente na produção de olerícolas, com águas superficiais contaminadas por esgotos de natureza diversa.

5. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e descritos os mapas de isotores elaborados para os elementos Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mn, Ni, P, Pb, Sn, Ti, V, Zn, Th, e U.

A prata (Ag) apresenta valor de alerta e de prevenção igual a 2 ppm (CONAMA, 2009; CETESB, 2001). No estado do Rio de Janeiro não foram constatadas concentrações maiores do que este valor e o background obtido é 0,04 ppm.

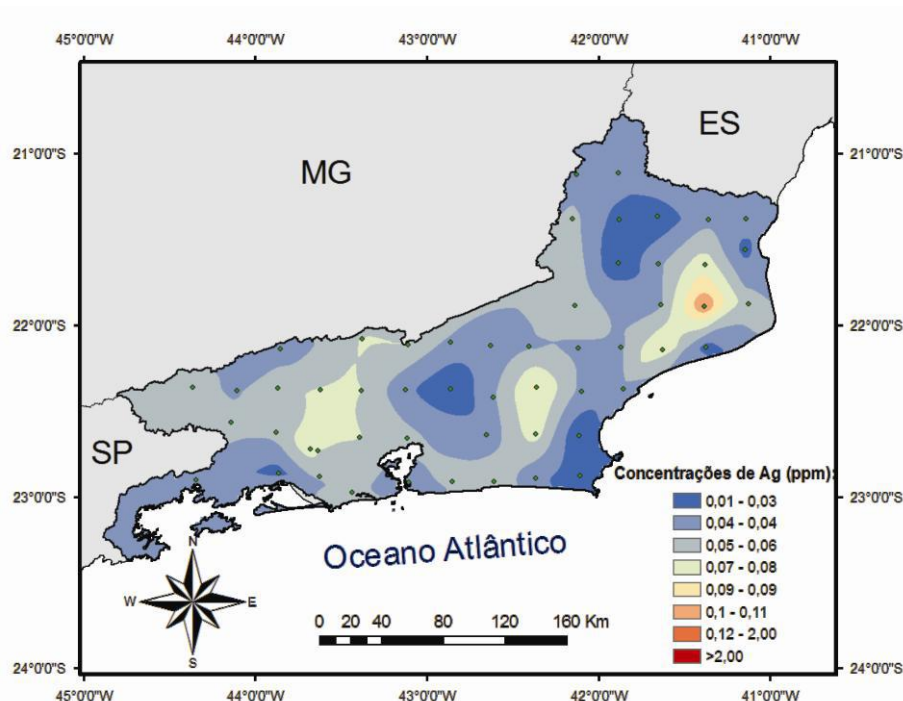


Figura 5.1: Mapa de distribuição de Ag (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

A maior parte do estado apresenta teores entre 0,01 e 0,08. E, este maior teor encontrado, 0,08 ppm, é 25 vezes menor do que o valor de alerta. Esta principal anomalia está localizada na região central do município de Campos dos Goytacazes (figura 5.1).

No que se refere ao alumínio (Al), a partir da abundância na crosta terrestre (8,13%), sua presença nos solos, apesar de em quantidades variáveis, pode ser presumida (Sorenson *et al.*, 1974). Este elemento não apresenta, no entanto, valores de alerta, prevenção ou investigação estabelecidos na literatura. O *background* obtido foi igual a 1,82%, resultado do

cálculo da média geométrica dos teores deste elemento na área. Este valor é relativamente baixo, o que implica em, à primeira vista, não apresentar riscos à saúde humana, animal ou vegetal.

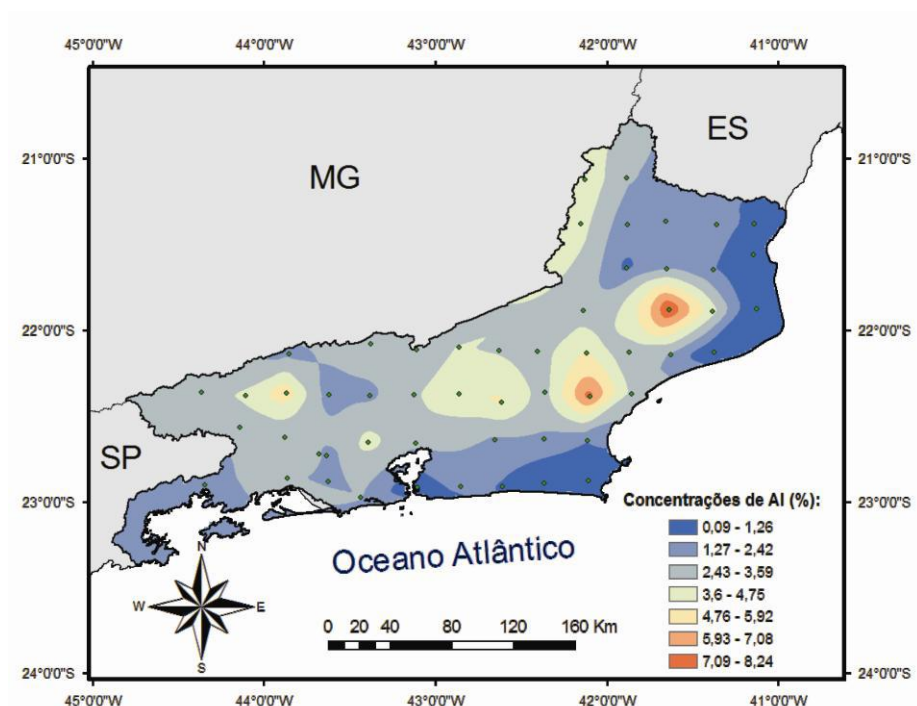


Figura 5.2: Mapa de distribuição de Al (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

No mapa de distribuição de Al (figura 5.2), observam-se dois principais pontos de anomalia positiva de alumínio. O principal se localiza no município de Campos dos Goytacazes, com teor de 8,44 % e o segundo ponto de maior teor, no município de Macaé com 7,59%.

O elemento arsênio apresenta valores de alerta e de prevenção iguais a 15 ppm (CONAMA, 2009; CETESB, 2001). No estado do Rio de Janeiro, o maior teor encontrado foi 7 ppm, também no município de Campos dos Goytacazes. Uma outra anomalia, menos significativa, é observada em Magé, cuja concentração deste elemento é igual a 5 ppm (figura 5.3). Campos *et al.* (2013), na região de Itutinga (MG), mediram na maior parte dos solos amostrados baixos teores de As, variando de 0,33 a 2,09 ppm. A única exceção foi a medição realizada em gleissolo melânico, com 9,26 ppm. Estes autores consideraram os teores que

obtiveram como normais, considerando como referência Wenzel et al. (2002), que estabeleceu os valores do intervalo de 10-120 mg.kg⁻¹ como concentrações normais.

Sendo assim, as anomalias de As identificadas no estado do Rio de Janeiro, a priori, não configuram motivo de preocupação com a saúde e o meio ambiente, apesar de poderem apontar possíveis depósitos minerais. Anomalias de As, segundo Rodrigues & Malafaia (2008), podem estar associadas a depósitos de minérios de Pb-Zn-Ag, Mn e Au, sendo a ocorrência natural desse elemento podendo ser exacerbada pela atividade antropogênica de mineração desses metais.

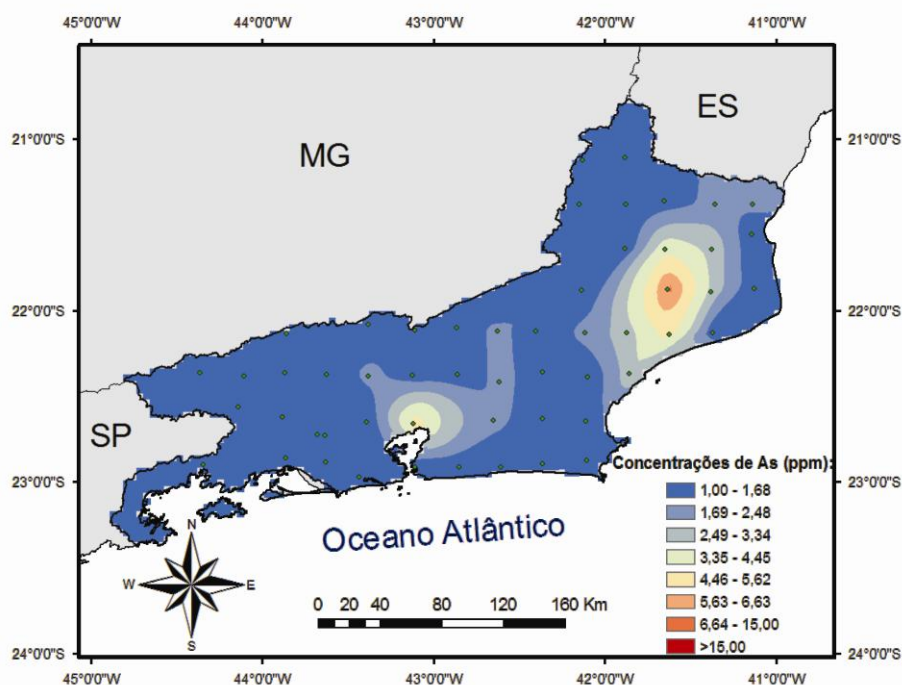


Figura 5.3: Mapa de distribuição de As (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Os estudos relativos a metais pesados nos ecossistemas têm indicado concentrações elevadas desses elementos em muitas áreas próximas de complexos industriais urbanos, e também, nas áreas de agricultura altamente tecnificada. Nessas regiões os solos têm sido poluídos com As, Cd, Hg, Ni, Pb e outros metais pesados (Alloway, 1995). O aumento anormal das concentrações desses elementos nos solos de tais áreas resulta da deposição

atmosférica e da aplicação de fertilizantes, corretivos, agrotóxicos, água de irrigação e resíduos orgânicos e inorgânicos (Ramalho & Sobrinho, 2001).

Os valores de Cd variaram de 0,01 a 0,21 ppm, sendo o teor mais elevado verificado no município de Campos dos Goytacazes (figura 5.4). O valor de alerta deste elemento (tabela 1) é 3 ppm e o valor de prevenção, 1,3 ppm. Isso significa que o maior teor de Cd registrado é, aproximadamente, 6,2 vezes menor do que o valor de prevenção e quase 15 vezes menor que o valor de alerta adotado como referência neste trabalho.

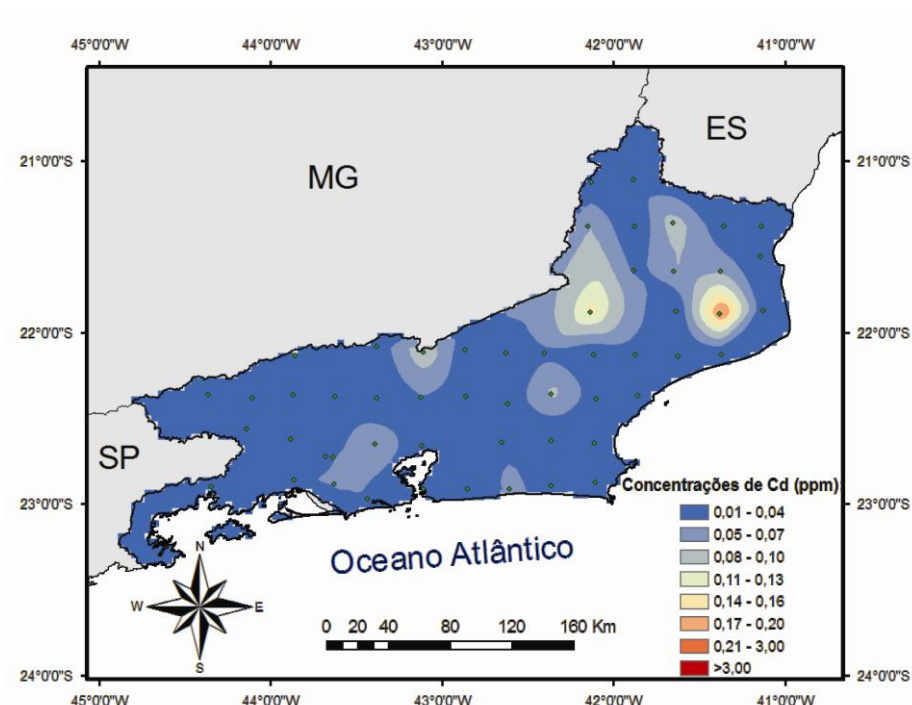


Figura 5.4: Mapa de distribuição de Cd (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Ramalho & Sobrinho (2001) avaliaram o efeito da vinhaça nos teores de metais pesados do solo em Campos dos Goytacazes. O ponto de coleta analisado por esses autores (Fazenda Santa Cruz), que se localiza aproximadamente 12km a NE do ponto de coleta deste trabalho, forneceu concentrações de Cd entre 1,75 e 1,83 ppm em áreas de controle e em solos tratados com vinhaça, respectivamente. Ambos encontram-se abaixo dos níveis críticos.

Na região da Baía de Sepetiba, segundo Ferreira (2010), há contaminação não apenas por Cd, mas por Zn, Cr, Pb e As. Anomalias de Cd não foram identificadas nessa região pelo presente trabalho de mapeamento geoquímico possivelmente devido à malha de amostragem adotada. No entanto, o autor em questão afirma que a contaminação é proveniente de indústrias polimetalúrgicas localizadas dentro da Baía Hidrográfica contribuinte à Baía de Sepetiba e do Porto Organizado de Itaguaí, que despejam grandes quantidades dos elementos supracitados na Baía, contaminando as águas e os solos. O autor detectou uma concentração média de 57 ppm nos sedimentos de fundo da Baía.

Nos solos do estado do RJ os teores de cromo (Cr) variaram entre 2 e 111 ppm. Este elemento apresenta como valor de alerta 75 ppm. No estado foram identificados 5 pontos de anomalia com teores de cromo acima deste valor: Barra do Piraí, Três Rios, Campos dos Goytacazes, Miracema e Italva (figura 5.5). Este último município é o detentor do maior teor de cromo observado no estado, 111 ppm. No entanto, este teor ainda se encontra abaixo dos valores de investigação propostos pelo CONAMA (2009) e CETESB (2001) para áreas agrícolas, industriais ou residenciais (tabela 1).

Santos (2011) realizou em Queimados estudo geoquímico dos solos, no qual mediu teores de cromo, obtendo baixas concentrações, entre 7,06 e 23,14 ppm. Esses valores são condizentes com os contemplados no presente trabalho para a mesma região, que estão na faixa de 15,21 ppm a 25,84 ppm. Na amostra coletada dentro do município de Queimados o valor registrado corresponde a 24 ppm.

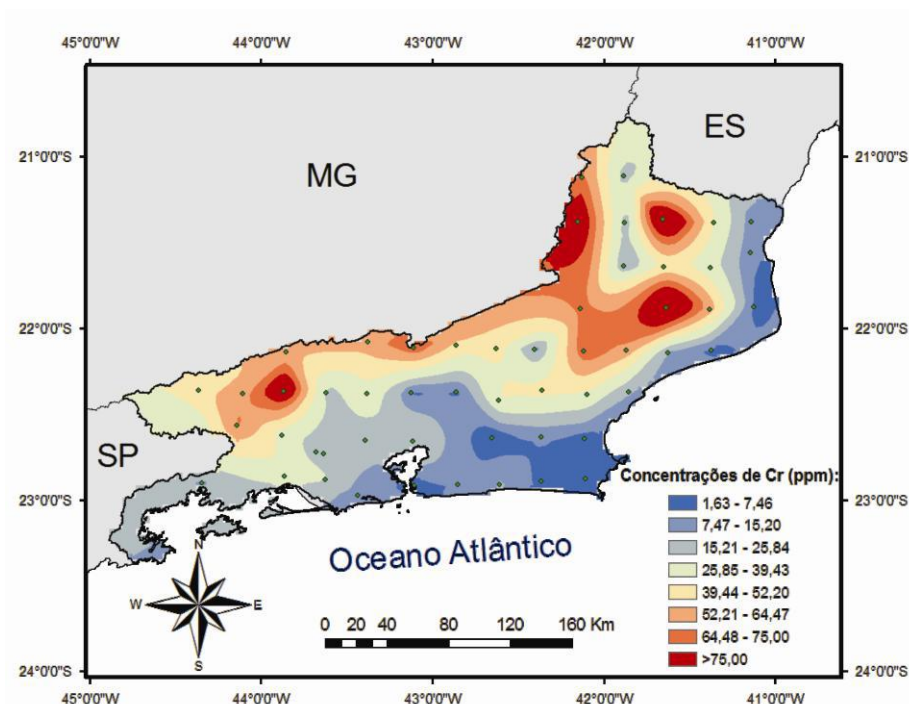


Figura 5.5: Mapa de distribuição de Cr (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

O presente trabalho analisou a distribuição da concentração de cromo total nos solos do estado do Rio de Janeiro. No entanto, diversos autores apontam a importante diferença de toxicidade entre o cromo trivalente e hexavalente. Embora o elemento cromo exista em diversos estados de oxidação, somente Cr^{3+} e Cr^{6+} são suficientemente estáveis para ocorrer no ambiente. A presença de Cr^{3+} na dieta de animais e humanos é importante, pois está relacionada com o metabolismo de glicose, lipídeos e proteínas. Contudo, Cr^{6+} é tóxico, carcinogênico e mutagênico para animais e humanos. O Cr^{6+} apresenta mais mobilidade que Cr^{3+} , pois seus ânions são facilmente transportados através do solo. Por outro lado, Cr^{3+} precipita como $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ou $\text{FexCr}_{1-x}(\text{OH})_3$ ou ainda forma quelatos com moléculas orgânicas (Matos *et al.*, 2008). Os procedimentos normalmente utilizados para a descontaminação de água e solo envolvem, portanto, a redução do Cr^{6+} para Cr^{3+} por processos químicos e eletroquímicos, como a incorporação de Fe^{2+} , Mn^{2+} , carbono orgânico e ou abaixamento do pH (Losi *et al.*, 1994).

Apesar de, no quesito saúde, a análise apenas das concentrações totais de cromo deixar a desejar, as anomalias deste elemento apontadas pelo mapeamento geoquímico ainda podem ser frutuosas na identificação de possíveis depósitos minerais ainda não descobertos. A grande extensão com valores de Cr acima de 75ppm e atingindo valores de 111ppm apontam para a necessidade de investigação mais detalhada, haja vista o Clarke geoquímico para o elemento Cr ser de 126 ppm, segundo Wedepohl (1995).

Em relação ao elemento cobre, o presente estudo detectou valores variando de 1,6 a 113,1 ppm no estado do Rio de Janeiro. Considerando os valores de alerta e de prevenção para este elemento, que é 60 ppm, foram identificadas duas anomalias em Duque de Caxias e em Nova Friburgo (figura 5.6), cujas concentrações são 63,8 e 113,1, respectivamente.

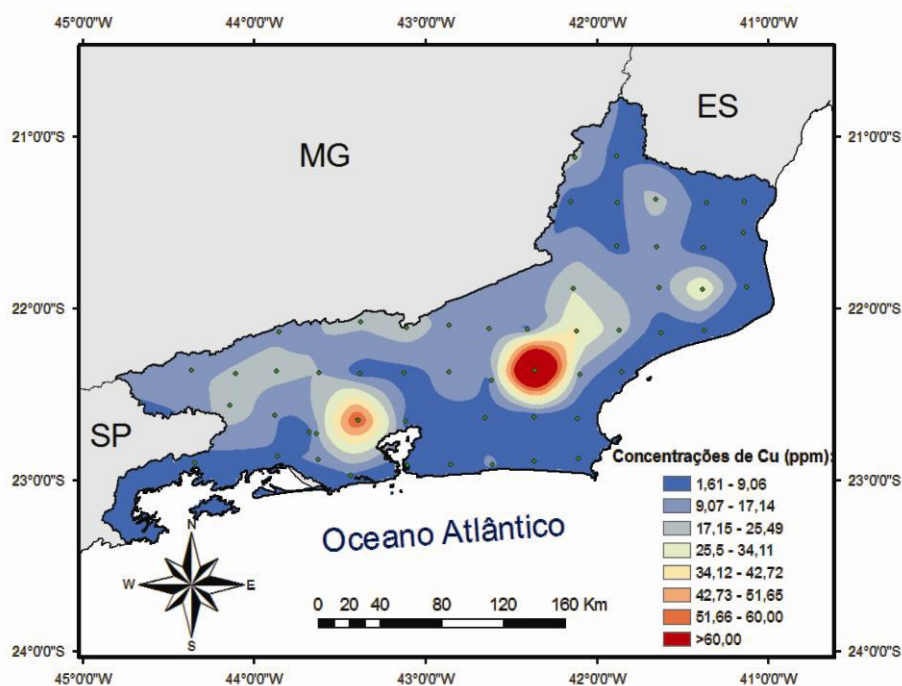


Figura 5.6: Mapa de distribuição de Cu (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Considerando também a ampla distribuição de valores acima de 25ppm, Clarke geoquímico para o elemento Cu, estudos prospectivos de detalhe são recomendados, tendo em vista a investigação de depósitos minerais.

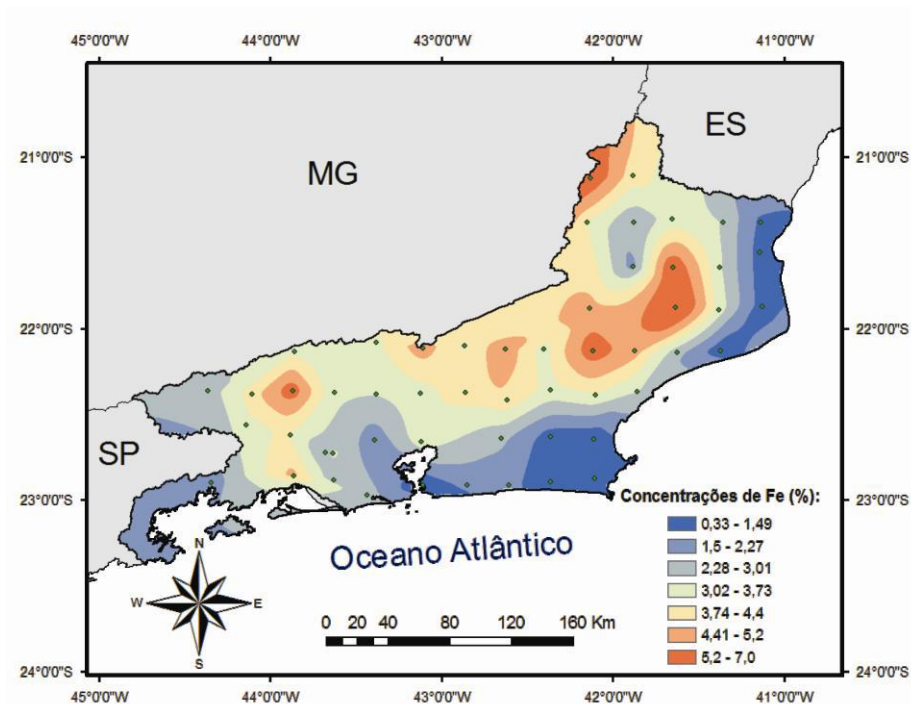


Figura 5.7: Mapa de distribuição de Fe (%) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

No que se refere ao ferro (Fe) os teores variaram entre 0,32 a 6,96%. Para o ferro não há valores de alerta, prevenção, investigação, nem mesmo abundância relativa nos solos disponível na literatura. Para este elemento foi calculado o *background* da área, que é 2,72%.

As principais anomalias positivas de Fe ocorrem nos municípios Barra do Piraí, Trajano de Moraes, Campos dos Goytacazes, São Fidélis e Itaperuna (figura 5.7), cujos valores foram de 5,79%, 5,79%, 6,96%, 6,10% e 6,11%, respectivamente. O Clarke geoquímico de 4,32% para o ferro (Wedepohl, 1995) aponta concentrações elevadas desse elemento nas regiões apontadas.

Tebaldi *et al.* (2000) obtiveram em suas análises, em média: 35 ppm de Fe em Bom Jesus do Itabapuaana; 75 ppm em Santo Antônio de Pádua; 52 ppm em Itaperuna; e, 28 ppm em Italva, que são valores bem menores do que o obtido no presente trabalho. Os autores afirmam que os teores de Fe dos solos, em seu estudo, variaram em função das épocas, profundidades e dos locais estudados, observando-se nas médias locais, variações de dez a onze vezes entre o menor e o maior teor deste elemento.

A geologia na região NW do estado, onde se encontram esses municípios é dominada por ortognaisses granodioríticos e por mármore, pode, contudo, explicar esses valores anormalmente baixos.

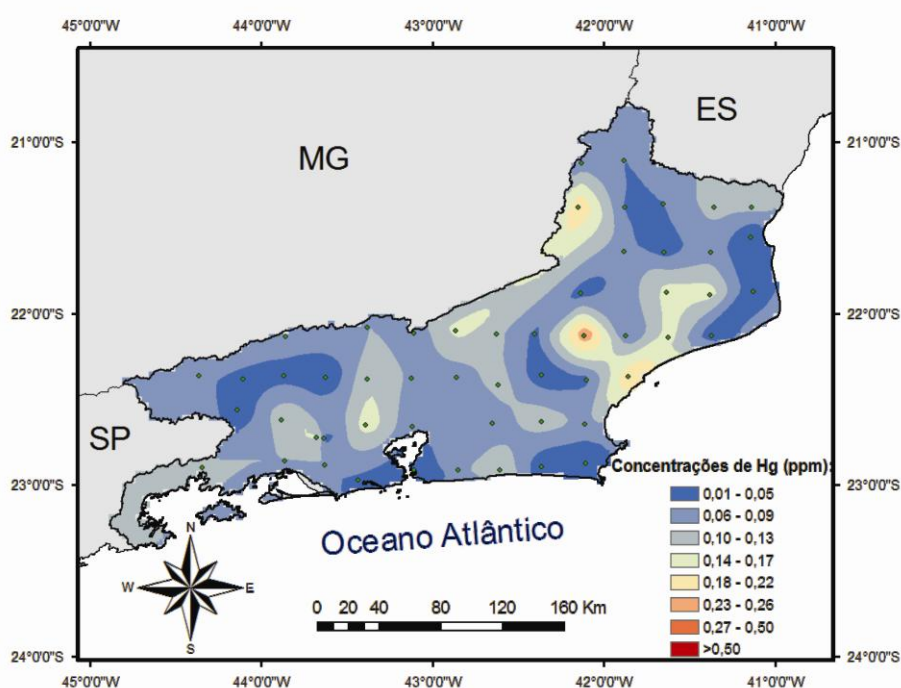


Figura 5.8: Mapa de distribuição de Hg (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Os valores para o elemento Hg variaram entre 0,01 e 0,27 ppm, entretanto, em todo o estado não foram observadas concentrações de mercúrio (Hg) acima dos valores de alerta e prevenção (0,5 ppm) e o *background* calculado para a área foi 0,06 ppm. No entanto, anomalias positivas deste elemento são encontradas nos municípios de Miracema, Trajano de Moraes e Macaé (figura 5.8) com valores de 0,21, 0,27 e 0,21 ppm, respectivamente.

Nos anos 1980 e 1990 registrou-se a ocorrência da expansão de garimpos de ouro de aluviões, ao longo do Rio Paraíba do Sul e de alguns de seus afluentes e subafluentes, como o Rio Muriaé, na região noroeste fluminense (Silva & Andrade, 2009), devido à elevação da cotação do ouro no mercado internacional. Sendo assim, a anomalia encontrada nessa região,

mais especificamente em Miracema, pode ser atribuída a essa atividade extrativista, que adotava o mercúrio em seu processo, sem nenhuma preocupação ambiental.

Os teores para o elemento potássio variaram entre 0,01% a 1,18%, esse último obtido na amostra coletada em Barra Mansa (figura 5.9), com 1,18%. O conteúdo total de potássio nos solos (K), segundo Sparks (2001), varia de 0,15 a 5% e o *background* da área calculado para este elemento é 0,08%.

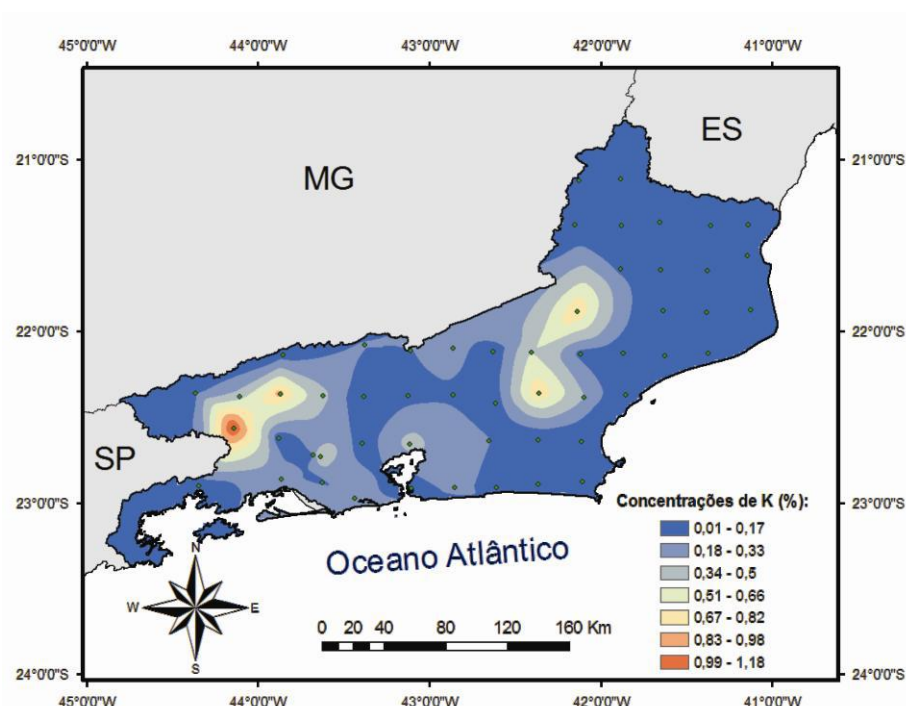


Figura 5.9: Mapa de distribuição de K (%) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Santos *et al.* (2010) descreveram atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos na região de Pinheiral, município adjacente a Barra Mansa, e constataram alta influência da presença das micas (principalmente muscovita) nesses atributos, como aumento do teor de K, dentre outros efeitos.

Na região de Barra Mansa, através do mapa geológico do estado do Rio de Janeiro da CPRM (2000), na escala 1:50.000, pode-se observar que há uma grande variedade de tipos litológicos capazes de fornecer este elemento de forma natural, como rochas alcalinas

cretácicas/terciárias, gnaisses de composição granítica do Complexo Paraíba do Sul e gnaisses de composição tonalítica a granítica da Suíte Quirino.

Os teores de Li nos solos do estado do RJ variaram de <1 a 35ppm com *background* de 4,11 ppm. Os teores mais elevados foram encontrados no norte de Barra Mansa (35 ppm) e em Barra do Pirai (31 ppm).

A abundância relativa de lítio nos solos varia bastante, de 5 a 200 ppm (Levinson, 1980), entretanto, valores acima de 20 ppm já apontam a necessidade de estudos prospectivos mais detalhados, haja vista ser esse o valor para o Clarke geoquímico desse elemento e o Clarke específico variar de 25 ppm a 30 ppm em rochas ácidas e intermediárias (Levinson, 1980).

Em relação à saúde humana, o lítio é encontrado em quantidades variáveis nos alimentos tendo como fontes primárias grãos e vegetais; em algumas áreas, a água potável também fornece quantidades significativas do elemento. Assim, a ingestão de lítio na dieta humana depende da localização e do tipo de alimentos consumidos variando em uma ampla faixa (Schrauzer, 2002). Doenças associadas à deficiência de lítio ainda não estão bem caracterizadas, mas baixa ingestão de lítio através da água de abastecimento foi associada ao aumento em taxas de suicídios, homicídios, prisão, uso de drogas e outros crimes (Schrauzer, 2002; Selinus & Finkelmann, 2011).

Os valores encontrados para o elemento Mn são relativamente baixos em quase todo o estado, com um *background* de 227,64 ppm (figura 5.10). Entretanto, valores acima do Clarke geoquímico para esse elemento (900ppm) são observados nas regiões norte, centro-leste e norte do estado. A concentração mais elevada é 2532 ppm, no município de Valença, enquanto sua abundância relativa nos solos é 850 ppm.

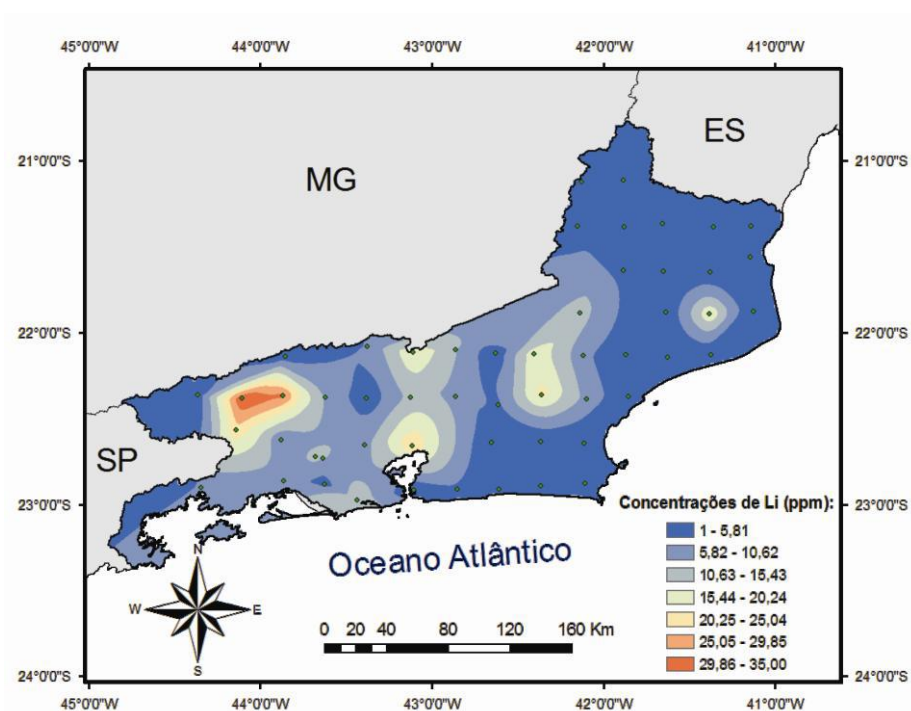


Figura 5.10: Mapa de distribuição de Li (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

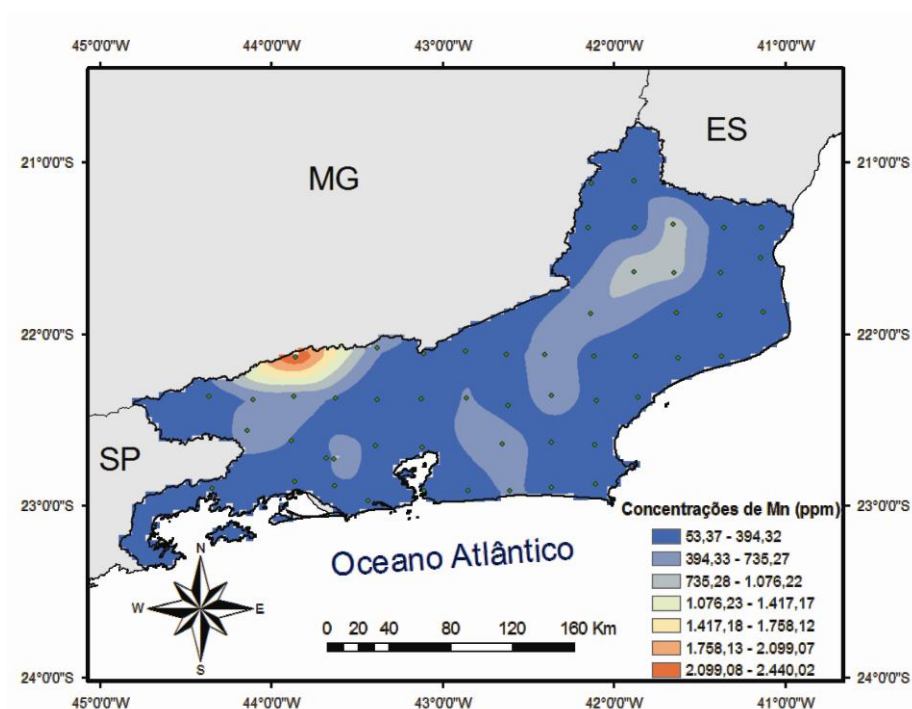


Figura 5.11: Mapa de distribuição de Mn (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Os valores obtidos para o Ni nos solos estudados estão entre 1,72 e 47,9 ppm com background de 6,13 ppm (fig. 5.12).

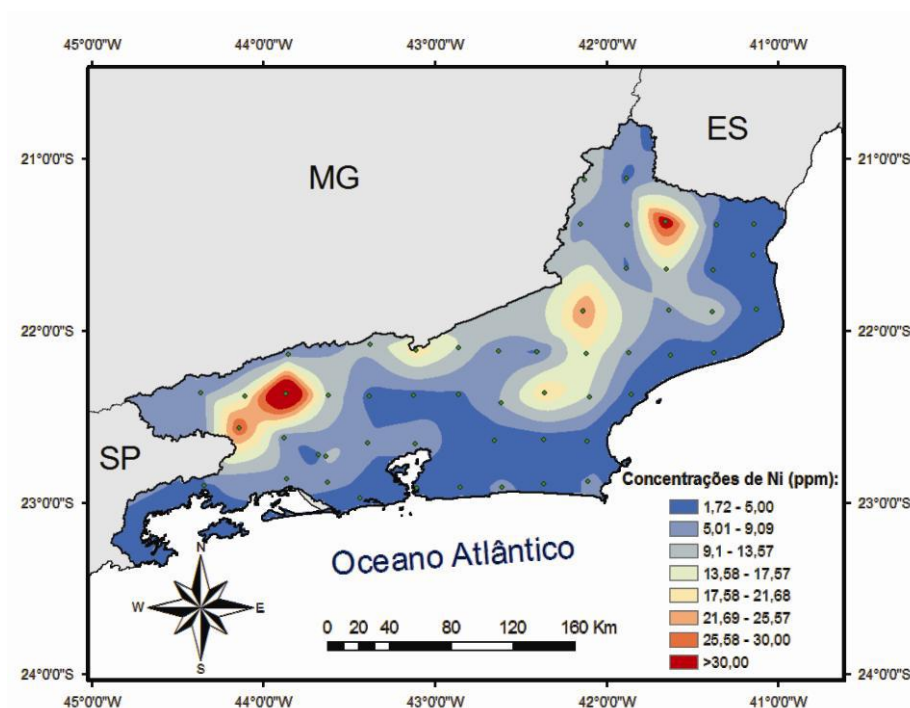


Figura 5.12: Mapa de distribuição de Ni (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Os valores de investigação agrícola, industrial e residencial são, respectivamente, 70, 100 e 130 ppm (CONAMA, 2009) indicando que de uma forma geral os solos do estado encontram-se dentro dos parâmetros exigidos. Entretanto, se considerarmos os valores de alerta e de prevenção para esse elemento (30 ppm), as regiões de Barra do Piraí (47,9 ppm), Barra Mansa (30,2 ppm) e Italva (35,9 ppm) merecem atenção.

Comparando os resultados obtidos com o Clarke geoquímico do Ni (75 ppm), poderíamos concluir pela não necessidade de investigações para uma prospecção geoquímica de maior detalhe. Entretanto, na região de Liberdade (distrito de Resende) são encontrados depósitos de Ni associados a serpentinitos, conforme consta no relatório Barra do Piraí (CPRM, 2007). Guimarães (2001) também relatou a presença de rochas ultramáficas (serpentinitos e talco xistos) e minerais associados como amianto e garnierita nos municípios

de Valença, Conservatória, Barra Mansa e Resende. Esses dados indicam a necessidade de estudos detalhados para exploração de depósitos minerais.

Não há na literatura valores de alerta, de prevenção ou de investigação determinados para o fósforo (P). No mapa de distribuição de P dois pontos de anomalia sobressaem, em Teresópolis (811 ppm) e em Campos (707 ppm). O *background* de fósforo obtido para o estado foi 215,59 ppm. Este número é baixo, comparado ao teor médio de P em solos de Pernambuco, 321,6 ppm (Franzen *et al.*, 2011) e mais baixo ainda quando comparado ao teor médio do horizonte B em solos do Paraná, 626,5 ppm (MINEROPAR, 2005).

O Clarke geoquímico para o fósforo é em torno de 1000 ppm (Winter, 1998), variando entre médias de 750 ppm em granitos e 1200 ppm em gabros (MINEROPAR, 2005). Portanto, teores acima de 2000 ppm de P podem ser considerados elevados tanto do ponto de vista ambiental quanto prospectivo (Franzen *et al.*, 2011).

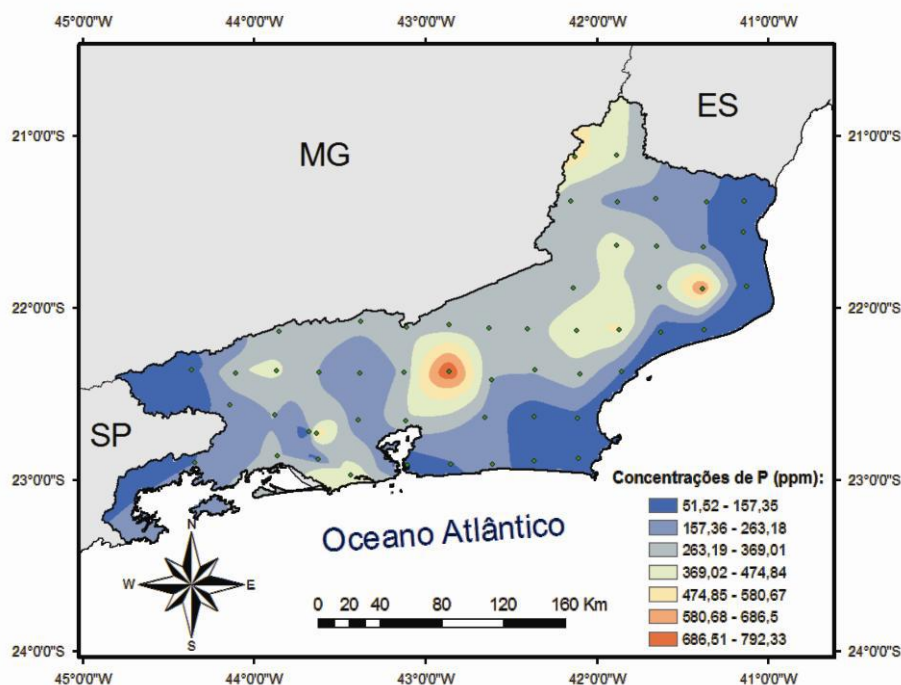


Figura 5.13: Mapa de distribuição de P (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

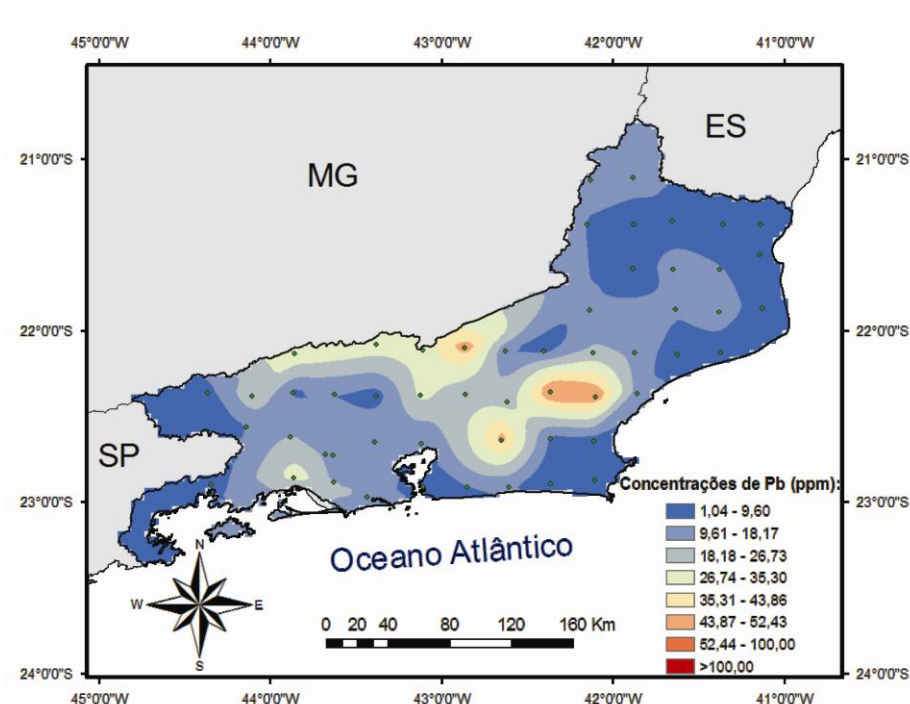


Figura 5.14: Mapa de distribuição de Pb (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Os teores de chumbo (Pb) variam de 0,9 a 56 ppm e o *background* calculado para este elemento no estado é 10,12 ppm. Não foram verificadas anomalias com teores acima do valor de alerta (100 ppm) proposto por CONAMA (2009) e CETESB. (2001). No entanto, foram verificadas anomalias significativas (figura 5.14) em Nova Friburgo (56 ppm), Macaé (51,7 ppm), Cachoeiras de Macacu (48,2 ppm) e Sapucaia (50,6 ppm).

Pérez *et al.* (1997) em análise geoquímica dos solos brasileiros mais representativos, obtiveram teores entre 0,52 e 36,55 ppm de chumbo, intervalo que é totalmente condizente com o mencionado acima, determinado através da metodologia aplicada neste trabalho.

Os teores de estanho (Sn) variam de 0,6 a 8,7 ppm em todo o estado. Os maiores teores (figura 5.15) foram identificados em Seropédica (8,7 ppm), Nova Friburgo (8,5 ppm) e Itaguaí (8,1 ppm). Não há valores de alerta, prevenção ou investigação disponíveis na literatura.

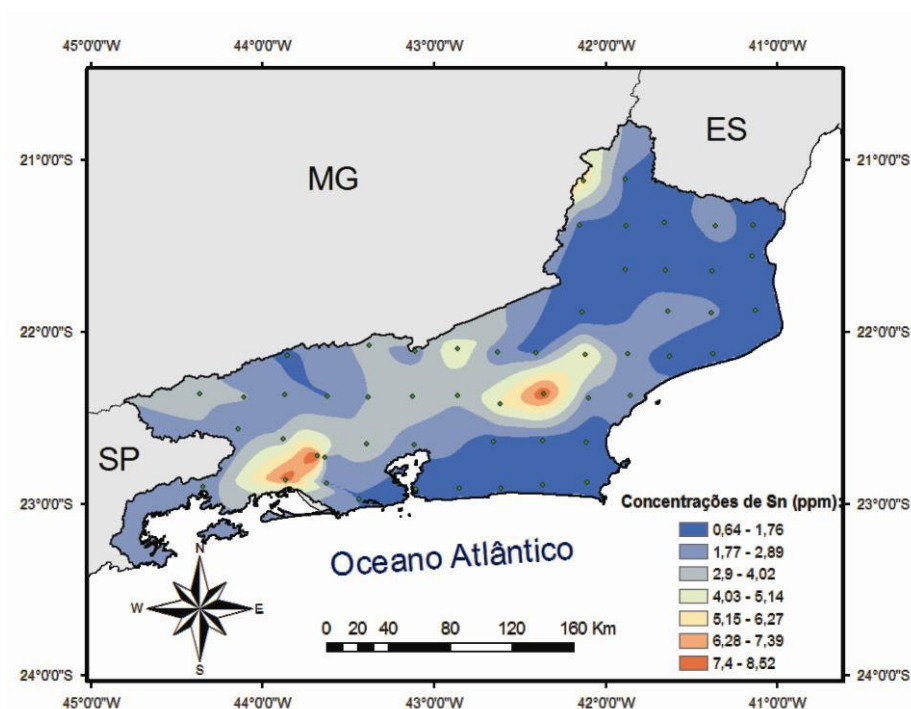


Figura 5.15: Mapa de distribuição de Sn (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Apesar da abundância relativa nos solos ser de 10 ppm (tabela 2), o Clarke geoquímico (2ppm) e o Clarke específico para granitos e granodioritos (2 ppm e 3ppm) sugerem concentrações anômalas desse elemento em várias regiões do estado. É possível a sua associação como minerais residuais pesados em areias, solos, etc.

No estado do Rio de Janeiro, os valores de tório (Th) variam de 0,6 a 37,7 ppm, sendo este teor máximo no município de Itaguaí (figura 5.16). A abundância relativa nos solos (13 ppm) é aproximadamente 1,5 vezes maior do que o *background* calculado para a área (8,2 ppm). Os solos do estado do Paraná também apresentam média dos teores deste elemento (13,30 ppm) maior do que o encontrado no Rio de Janeiro.

Pérez *et al.* (1997), em sua análise geoquímica de alguns solos brasileiros, mediram teores de tório entre 0,028 e 42 ppm em 30 amostras de solos consideradas mais representativas dos solos do país. Este intervalo se aproxima daquele apresentado acima, obtido no presente mapeamento geoquímico.

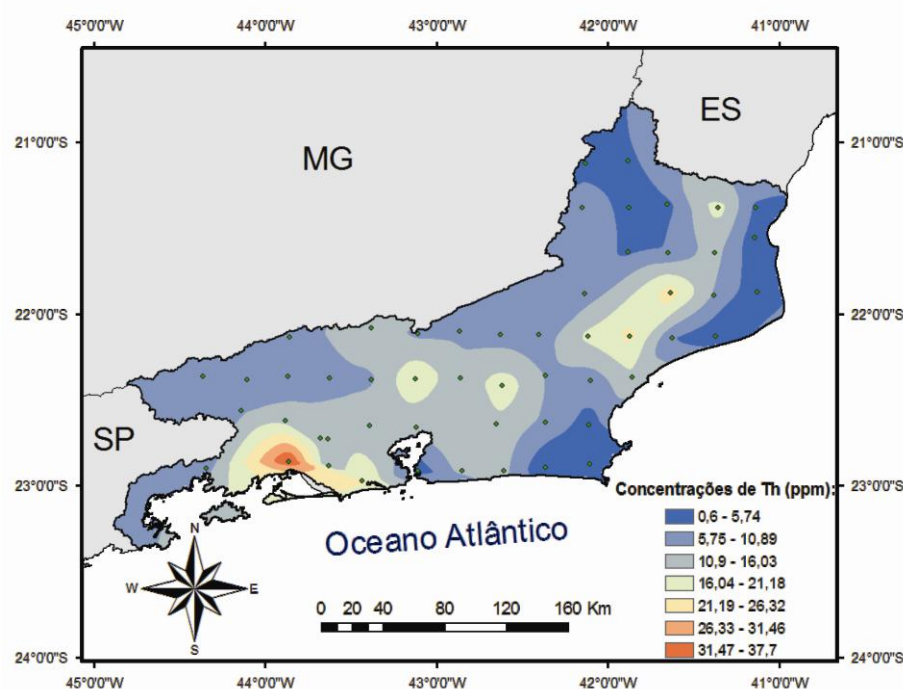


Figura 5.16: Mapa de distribuição de Th (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

Em relação à saúde humana considera-se o tempo de exposição a radiação emitida pelo tório. Segundo a Agência de Proteção ambiental Americana a concentração máxima de ^{232}Th na água é de $1,7 \times 10^{-5}$ ppm para um tempo de exposição de 40 horas (ASTDR, 1990).

Devido a principal fonte de tório ser o mineral monazita, bastante comum em depósitos arenosos como um mineral pesado, à semelhança do Sn, os valores elevados em Itaguaí poderiam estar relacionados a esse tipo de fonte, o que requer uma investigação. Salienta-se que um dos maiores polos areiros do estado do Rio de Janeiro é o de Itaguaí-Seropédica que fornece aproximadamente 70% da areia para a construção civil da região metropolitana do Rio de Janeiro (Tubbs *et al.*, 2011).

No que se refere ao titânio (Ti), seus teores em todo o estado variam de 0,01 a 0,46 ppm. O teor mais elevado foi detectado na amostra coletada em Valença (figura 5.17). O background calculado para este elemento no estado é 0,06 ppm, enquanto sua abundância relativa nos solos é 5000 ppm. No Paraná, segundo MINEROPAR (2005), a média de titânio

(15.726,47 ppm) é absurdamente alta, comparativamente ao estado do Rio de Janeiro. Provavelmente, essa diferença se dá devido a grande abundância de rochas básicas no Paraná (basaltos Serra Geral), que são ricas em minerais como ilmenita, titano-magnetita e rutilo.

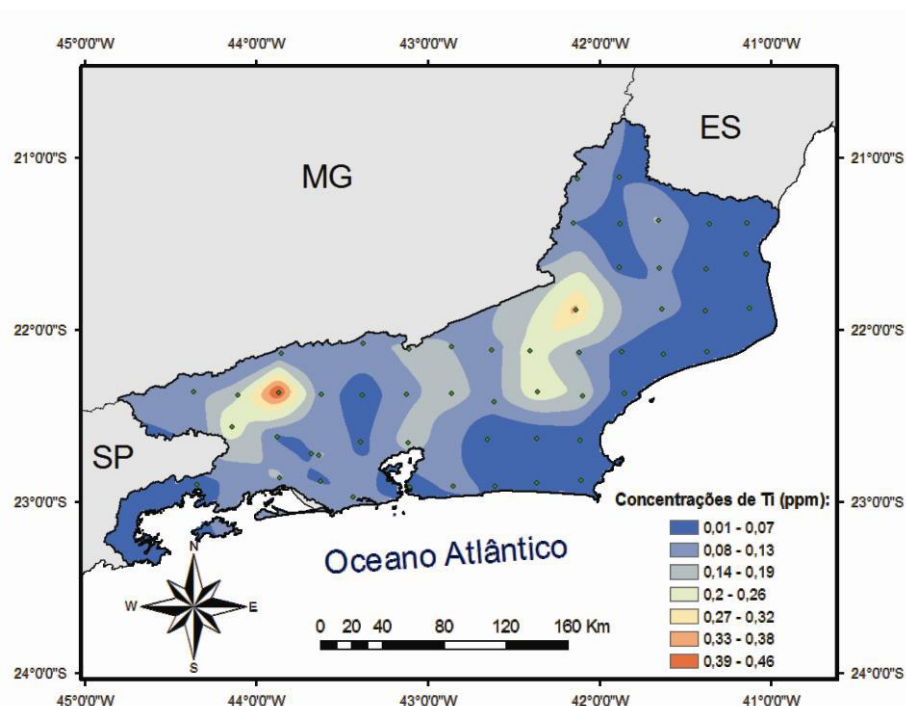


Figura 5.17: Mapa de distribuição de Ti (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

A abundância relativa de urânio (U) nos solos é igual a 1 ppm, enquanto o *background* obtido para estado é 0,91. No entanto, os teores de urânio variam entre 0,13 e 4,14. Este maior teor foi detectado em Cachoeiras de Macacu (figura 5.18). O segundo maior teor (3,62 ppm) foi detectado em Angra dos Reis e o terceiro em Vassouras (3,29 ppm).

Pérez *et. al* (1997) detectaram teores entre $1,3 \times 10^{-3}$ e 2,3 ppm em 30 amostras de solos selecionadas como as mais representativas do estado. Nesse sentido, as três amostras supracitadas oferecem relativamente altos teores de urânio que merecem estudo detalhado, sobre suas fontes e efeitos sob o meio ambiente e populações locais.

No que tange o vanádio (V), sua abundância relativa nos solos é 500 ppm. O intervalo de teores observado no estado do Rio de Janeiro vai de 1 a 184 ppm e o *background* do estado

é 37,62 ppm. O teor máximo, responsável pela anomalia de São Sebastião do Alto (figura 5.19), é ainda aproximadamente metade da média do Paraná (370,7 ppm), estabelecida por MINEROPAR (2005). Duas outras anomalias, de menor porte, são observadas em Campos dos Goytacazes (163 ppm) e em Itaperuna (150 ppm).

O valor de investigação determinado para o vanádio por CONAMA (2009) e CETESB (2001) para áreas residenciais é 1000 ppm. E nenhum dos pontos, ademais, ultrapassou esse limite.

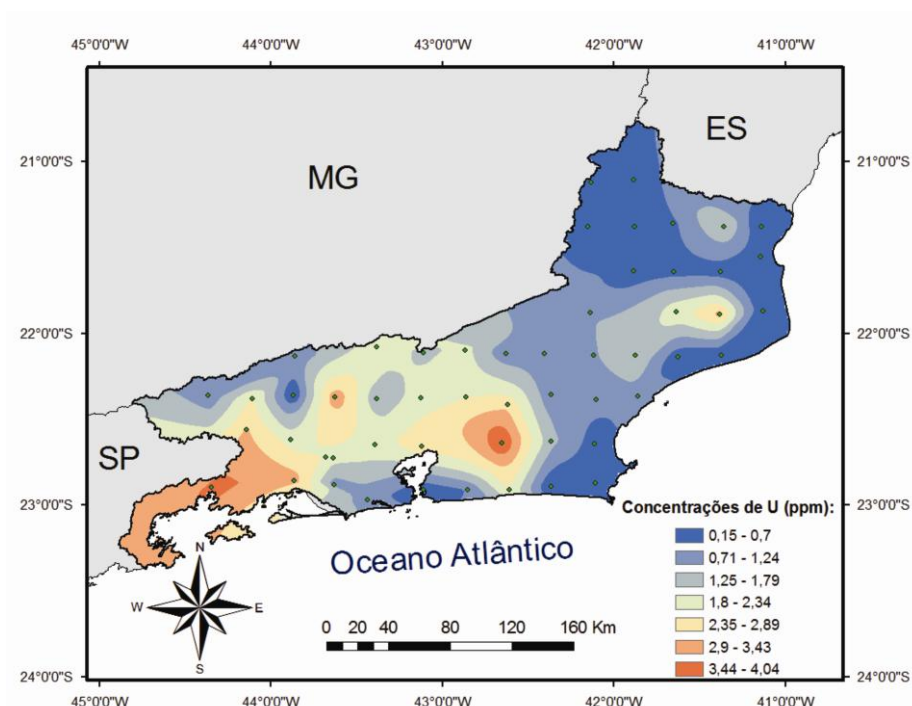


Figura 5.18: Mapa de distribuição de U (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

No estado do Rio de Janeiro, o zinco (Zn) ocorre em teores entre 2 e 142 ppm e o *background* é 23,28 ppm. Os valores de alerta e de prevenção para este elemento são iguais a 300 ppm, e não foram superados por nenhum dos teores medidos durante o mapeamento. Todavia, duas anomalias foram identificadas (figura 5.20), uma em Barra do Piraí (121 ppm) e outra em Nova Friburgo (142 ppm). Ademais, Pereira *et al.* (2001) mensurou em solos do estado do Rio de Janeiro teores entre 0,47 e 19,20, enquanto Tebaldi *et al.* (2000) mediu

teores entre 0,02 e 10,33 ppm. Nos solos do Paraná, entretanto, foi obtida a média de 455,67 ppm, que é bem mais alta do que os valores considerados para o estado do Rio de Janeiro.

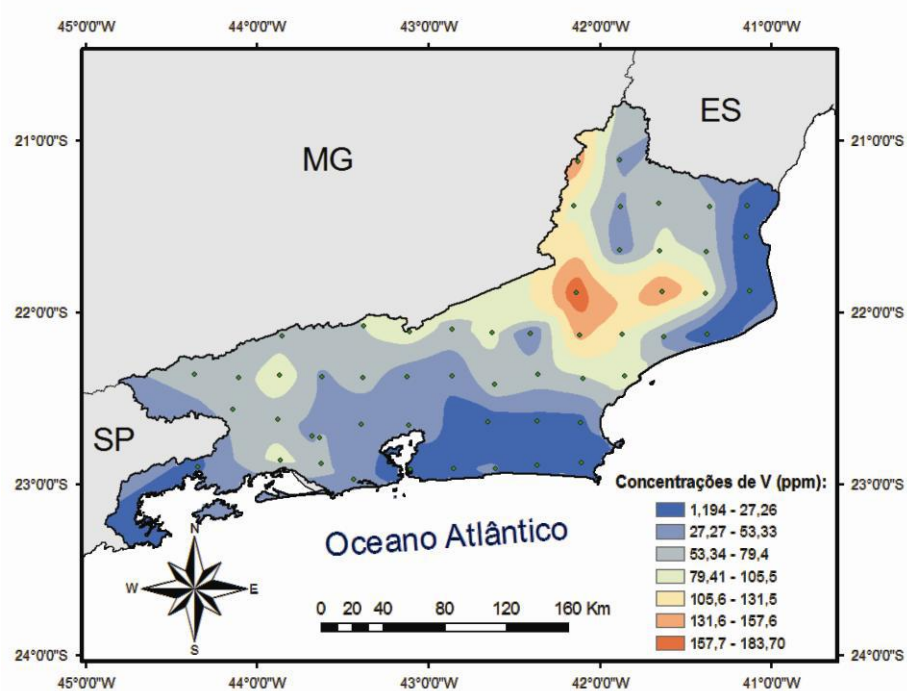


Figura 5.19: Mapa de distribuição de V (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

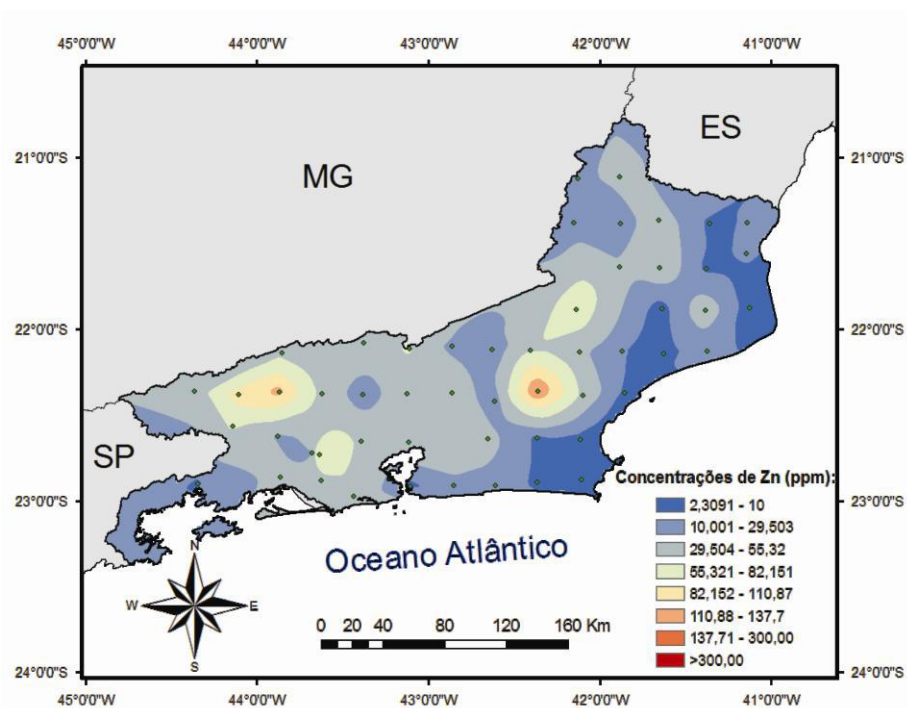


Figura 5.20: Mapa de distribuição de Zn (ppm) em 54 amostras de solo no Estado do Rio de Janeiro.

6. DISCUSSÕES

Os resultados obtidos através do mapeamento geoquímico de baixa densidade em solos do estado do Rio de Janeiro demonstraram que a maioria dos elementos analisados possuem teores abaixo dos valores limítrofes determinados pelo CONAMA (2009) e dos valores de investigação de CETESB (2001) indicando baixos riscos de contaminação ambiental e à saúde humana e da biota.

O mapeamento geoquímico também apontou a possibilidade de novas ocorrências minerais ou detalhamento de depósitos já existentes, e atualmente, inativos.

Para essa discussão, os elementos foram separados em associações metalogenéticas típicas. No entanto, a constatação da ocorrência anômala dessas associações é uma etapa preliminar, sendo necessária a realização de um estudo complementar, detalhado, para se confirmar as ocorrências então apontadas e estabelecer suas verdadeiras dimensões.

6.1. Associação Fe-Cr-Ni-Ti

A primeira associação abordada é a dos elementos Fe, Cr, Ni e Ti, descrita na literatura como típica de rochas ultramáficas.

Estes elementos têm ocorrência anômala comum na Folha Barra do Barra do Pirai (figura 6.1) podendo estar relacionadas às intercalações de rochas ultramáficas presentes na Megassequência Andrelândia.

O ponto de coleta se situa em local de ocorrência de ortogranulitos do Complexo Juiz de Fora. No entanto, nessa região, observa-se intercalação tectônica entre os referidos ortogranulitos e a Megassequência Andrelândia, que contém rochas ultramáficas. A partir disto, pode-se sugerir a necessidade de mapeamento geológico de detalhe nessa região, que poderia apontar novas ocorrências da Megassequência Andrelândia intercaladas ao Complexo

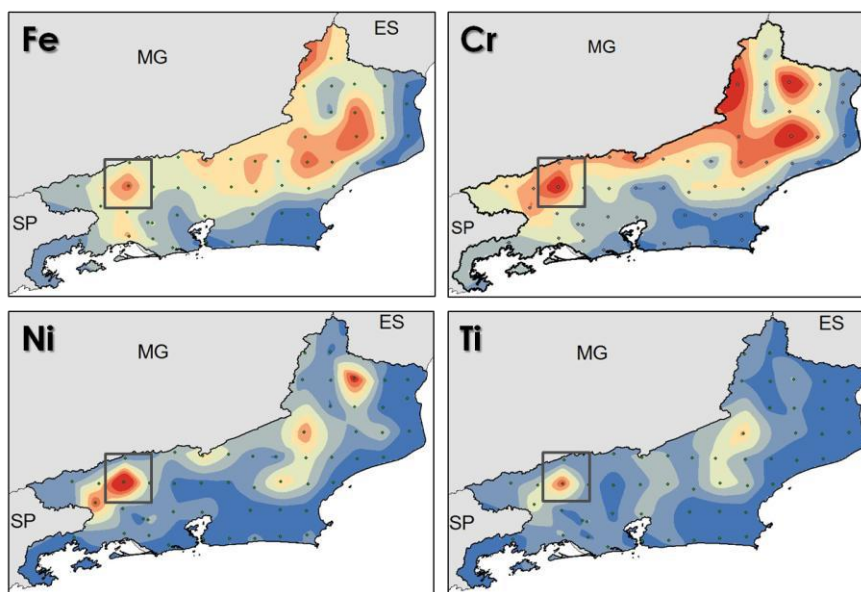


Figura 6.1: Mapas de distribuição dos elementos Fe, Cr, Ni e Ti nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias destes elementos em um ponto comum, na folha Barra do Piraí.

Juiz de Fora e confirmar a existência localizada de corpos ultramáficos que seriam responsáveis por fornecer teores anômalos dos elementos em questão. Como citado anteriormente, nessa região e no seu entorno foi relatada a presença de vários corpos de serpentinitos (Guimarães, 2001), os quais não foram encontrados em mapeamento geológico regional realizado pela CPRM (2007).

6.2. Associação Fe-Ti -V

A associação Fe-Ti-V pode ocorrer em anortositos, rochas máficas, rochas ultramáficas e eclogitos.

No município São Sebastião do Alto, a ocorrência anômala comum destes elementos (figura 6.2) foi atribuída à intercalação de anfíbolitos e rochas ultramáficas aos mármoreos do Grupo Italva. O teor de ferro nos solos nesse ponto é igual a 4,74%, o de titânio é 0,34 ppm e o de vanádio é 184 ppm.

Os clarkes geoquímicos e específicos para os elementos Fe, Ti, Cr, Ni e Va associados à sobreposição de anomalias são fortes argumentos para estudos detalhados nas regiões em que elas se apresentam.

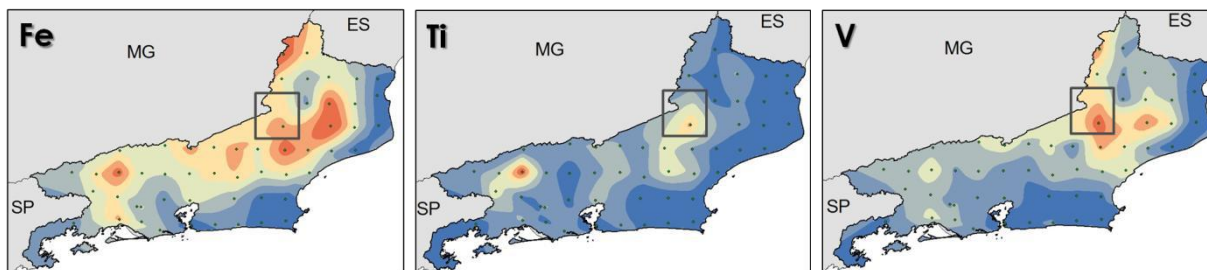


Figura 6.2: Mapas de distribuição dos elementos Fe, Ti e V nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias destes elementos em um ponto comum, na folha Santo Antônio de Pádua.

6.3. Associação Al-K-Li-Sn

A associação Al-K-Li-Sn, para fins de estudo no estado do Rio de Janeiro, foi dividida em duas subassociações: K-Li-Sn e Al-K-Li. A primeira subassociação foi identificada no município de Nova Friburgo, cujo mapeamento geológico se encontra registrado na folha Casimiro de Abreu (CPRM, 2012). A segunda é encontrada no município Barra do Piraí cujo mapeamento geológico está registrado na folha homônima. Ambas subassociações são consideradas farejadoras de corpos pegmatíticos, fato que advém da grande capacidade destes elementos de se concentrarem em fases ácidas e residuais.

Os pegmatitos mapeados na folha Casimiro de Abreu pertencem à Suíte Suruí. Sendo assim, a ocorrência anômala comum dos elementos K, Li e Sn, foi relacionada a esta unidade, que é constituída, majoritariamente por granitos, mas que também tem pegmatitos associados.

Tendo dito que a associação Al-K-Li-Sn está relacionada à ocorrência de pegmatitos, espera-se que sejam encontrados corpos tanto na folha Casimiro de Abreu com na folha Barra do Piraí. No entanto, na folha Barra do Piraí, onde foram diagnosticadas anomalias de Al, K e

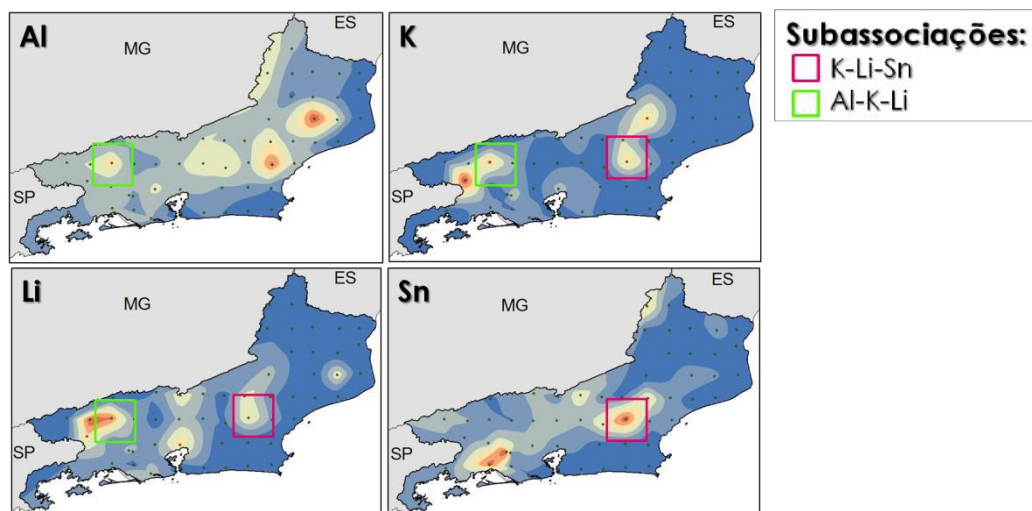


Figura 6.3: Mapas de distribuição dos elementos Al, K, Li e Sn nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias das duas associações, nas folhas Casimiro de Abreu (quadrado rosa) e Barra do Piraí (quadrado verde).

Li sobrepostas (figura 6.3), não há registro deste tipo de rocha. Desta forma, a prospecção geoquímica aponta a necessidade de mapeamento geológico de detalhe para averiguar a presença de pegmatitos que possam ser fonte desses elementos em associação.

6.4. Associação Cu-Pb-Zn

A presença dos elementos Cu, Pb e Zn em associação é comum em mármore, rochas ultrabásicas e sulfetos. A amostra de solo que apontou anomalia destes elementos foi coletada em área de ocorrência de kinzigitos do Grupo São Fidélis, na folha Casimiro de Abreu mais especificamente no município de Nova Friburgo (figura 6.4). Como estas rochas não são fonte natural de Cu, Pb e Zn em associação, o mapeamento geoquímico reafirma a necessidade de mapeamento geológico de detalhe do Estado do Rio de Janeiro, para confirmar e descobrir possíveis depósitos minerais.

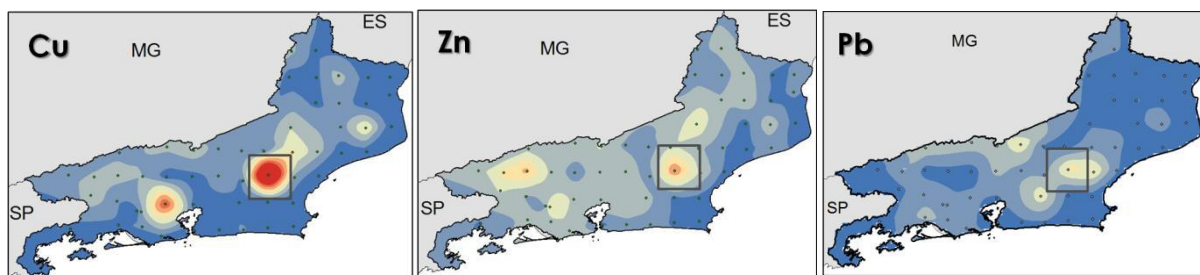


Figura 6.4: Mapas de distribuição dos elementos Cu, Pb e Zn nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias destes elementos em um ponto comum, na folha Casimiro de Abreu.

6.5. Ocorrências associadas a depósitos de Sulfetos ou do tipo hidrotermal

Ainda que os elementos Ag, As, Cd, e Hg formem associações minerais relacionadas a sulfetos ou a processos hidrotermais. Entretanto, os valores extremamente baixos para Ag (0,01 – 0,08ppm), Hg (<0,05ppm), Cd (<0,2 ppm) e a ampla distribuição de valores menores que 2 ppm para o arsênio não configuram possibilidades de ocorrências minerais. Anomalias positivas de Ag, Cd e Hg, como também a de As (figura 6.5) na região de São Fidélis, podem estar relacionadas à existência de sulfetos disseminados no Grupo São Fidélis.

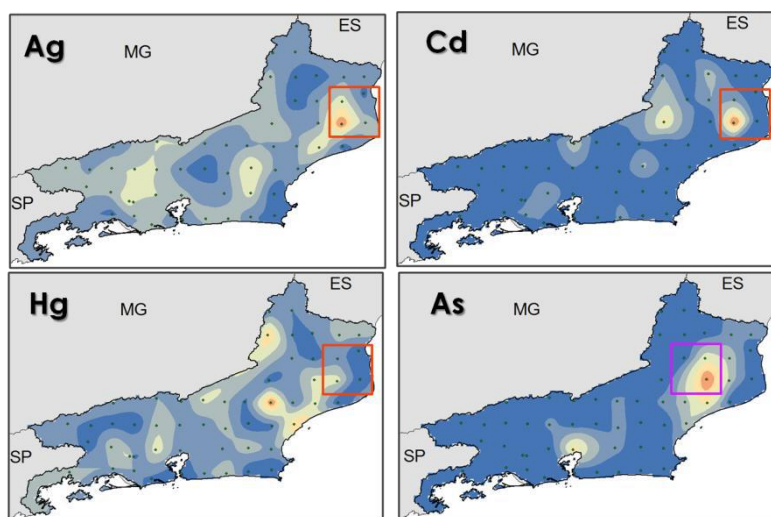


Figura 6.5: Mapas de distribuição dos elementos Ag, Cd, Hg e As nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias nas folhas Campos (quadrado laranja) e São Fidélis (quadrado rosa).

Outras anomalias de mercúrio, registrada no NW e SE fluminense, foram atribuídas à contaminação causada por intensa atividade e expansão dos garimpos de ouro, que ocorreu durante os anos 80 e 90. As áreas mais atingidas estão ao longo do rio Paraíba do Sul e alguns de seus afluentes, como o rio Muriaé (Silva & Andrade, 2009).

No entorno de Magé, a anomalia de arsênio não pôde ser relacionada a nenhuma fonte natural, pela ausência de rochas fonte desse elemento na região. Sendo assim, pode-se sugerir contaminação antrópica como origem deste elemento. O homem utiliza o arsênio, dentre outras aplicações, na composição de conservantes de madeira, de reagentes para flotação de minerais, de agroquímicos, de vidro, de cerâmica, de ligas não ferrosas etc. (MINEROPAR, 2005). No entanto, para determinar com maior precisão a origem da contaminação, se fazem necessários estudos mais aprofundados, incluindo novas visitas ao local.

6.6. Urânio

O urânio ocorre naturalmente em rochas alcalinas e granitos, principalmente, em minerais como uraninita, pechblenda, torbernita, pirocloro, samarskita e carnotita. Os granitos são mais ricos neste elemento, comparativamente às rochas básicas, devido ao caráter incompatível do urânio. Concentrações intempéricas e hidrotermais deste elemento também podem ocorrer (MINEROPAR, 2005).

É amplamente empregado pelo homem na produção de combustível nuclear, explosivos nucleares, na produção de raios-x de alta energia. Aterros sanitários também concentram altos teores deste elemento, devido à deposição de resíduos radioativos, principalmente advindos de hospitais, onde é utilizado amplamente nas tomografias e nos exames de raios-x.

De acordo com o mapa de aterros sanitários em operação no Estado do Rio de Janeiro (figura 6.6), três deles, nas regiões de Angra dos Reis, Barra Mansa e Vassouras, coincidem com pontos de anomalia positiva de urânio, evidenciando provável contaminação por parte desses aterros.

Em contrapartida, na região de Itaboraí, a anomalia foi relacionada à ao Maciço alcalino de Rio Bonito e, até, possivelmente, às rochas graníticas da Unidade São Fidélis, pertencente ao Complexo Paraíba do Sul.

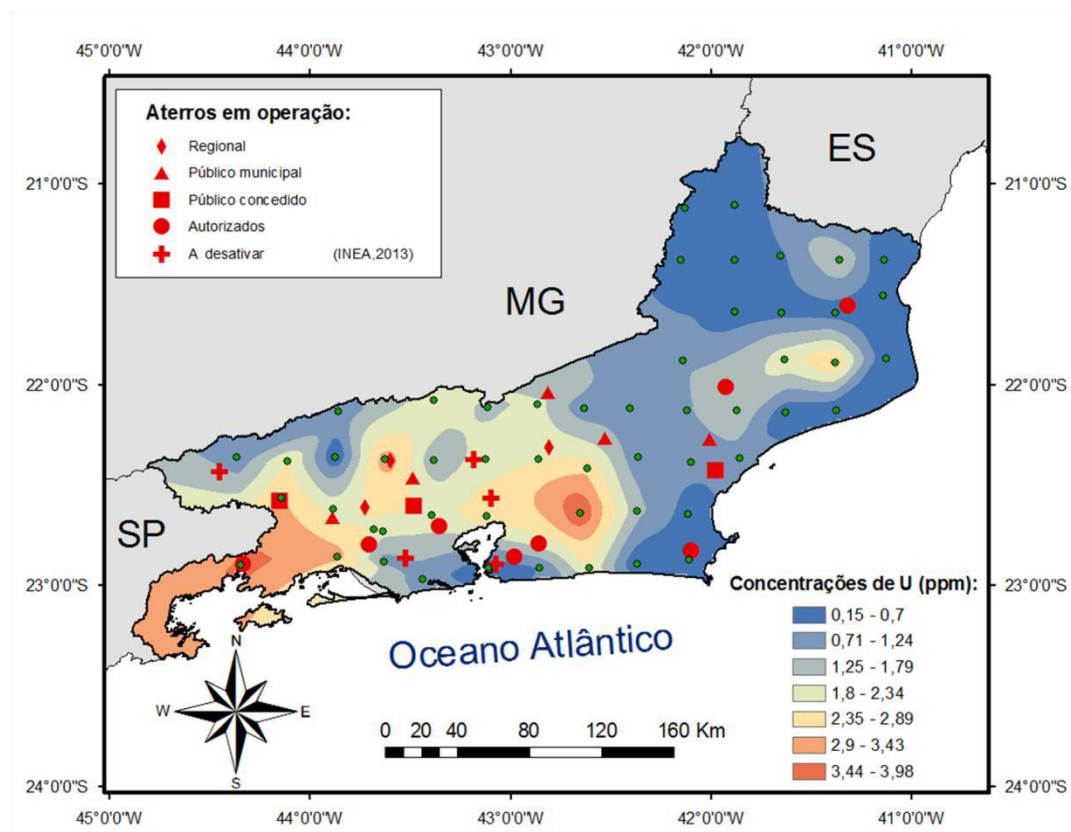


Figura 6.6: Mapa de localização dos aterros sanitários em operação no Estado do Rio de Janeiro.

Observar coincidência entre anomalias de urânio e aterros sanitários, nas regiões de Angra dos Reis, Barra Mansa e Vassouras.

6.7. Fósforo

O fósforo ocorre naturalmente em rochas alcalinas, pegmatitos e rochas sedimentares que contêm fosfato. Contaminação por fósforo de origem antrópica pode ser resultado da lixiviação de fertilizantes (ex: trilogia NPK) e de pesticidas agrícolas (ex: do tipo organofosforados), ou proveniente de diferentes tipos de detergentes e dos processos de fosfatização para proteção de superfícies metálicas (MINEROPAR, 2005).

A anomalia deste elemento em Teresópolis não apresenta relação com nenhuma litologia local. No entanto, como esta região apresenta grande atividade agrícola, é possível que essa contaminação advenha do uso intensivo de fertilizantes. Faz-se necessário, ademais, um estudo detalhado e integrado com a área da saúde para determinar com maior precisão a fonte, se há riscos à saúde humana e, em caso afirmativo, para quantificá-lo.

6.8. Tório

O tório é, geralmente, tetravalente quando forma compostos e apresenta grande parentesco geoquímico com Ti, Zr, Hf e U. Concentra-se de maneira notável na litosfera, em particular nas partes superiores desta e apresenta, geoquimicamente, grande coerência com o U. Ambos podem substituir os ETR em alguns minerais e sua distribuição na litosfera é fortemente controlada pelos estados de oxidação e pelas condições de Eh-pH (MINEROPAR, 2005).

Durante a diferenciação magmática, o tório acompanha o urânio e é enriquecido nos últimos estágios, em granitos, pegmatitos e formações hidrotermais (MINEROPAR, 2005). No município de Itaguaí, a anomalia de Th (37,7 ppm) é acompanhada por uma anomalia secundária de U (3,13 ppm), como apresentado na figura 6.8.1.

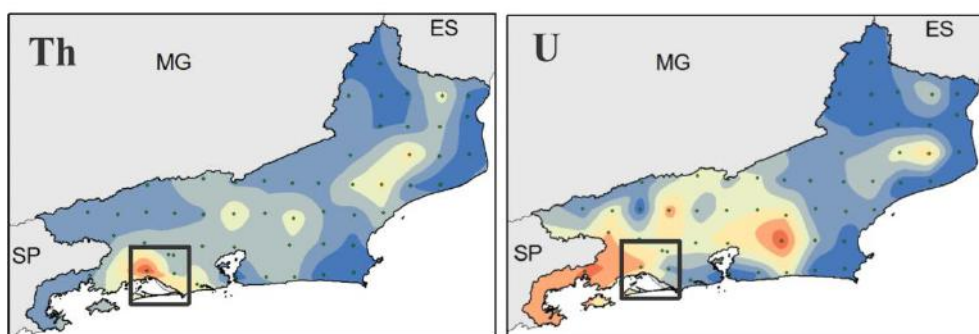


Figura 6.8: Mapas de distribuição dos elementos Th e U nos solos do Estado do Rio de Janeiro, mostrando a ocorrência de anomalias destes elementos em um ponto comum, na região de Itaguaí.

6.9. Manganês

Naturalmente, ocorre de forma abundante nos gonditos, além de estar presente em folhelhos e em rochas carbonáticas. Quanto às fontes artificiais e ao uso pelo ser humano, este elemento é constituinte de aços e ligas de Al e é utilizado como agente descolorante na fabricação do vidro, dentre outros (MINEROPAR, 2005).

Na região do Médio Paraíba, a anomalia de manganês foi atribuída às intercalações de gonditos na Megassequência Andrelândia.

É possível, ainda, que esta ocorrência esteja relacionada às Faixas Manganésíferas e Grafíticas do Sudeste do Brasil. O ponto de anomalia em questão está na região correspondente à extensão das faixas estudadas por Guimarães (2011).

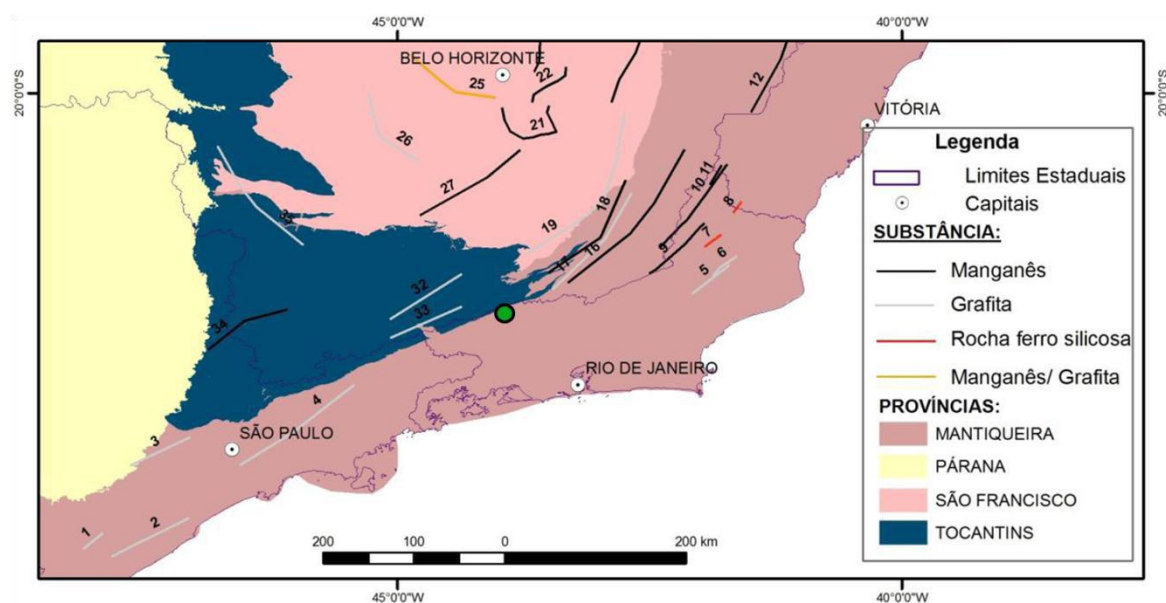


Figura 6.8: Mapa com as principais faixas manganésíferas e grafíticas do Sudeste do Brasil (adaptado de Guimarães, 2011). O ponto verde indica o local de coleta da amostra de solo que apresentou teor anômalo de manganês.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho apontou possíveis fontes antrópicas para os elementos arsênio, mercúrio, fósforo e urânio e, apenas para o cromo, o cobre e o níquel foram constatados teores maiores do que os valores de alerta segundo CETESB (2001). No entanto, é necessária uma integração entre os resultados obtidos no presente trabalho e estudos de biodisponibilidade para determinar os reais riscos que estes elementos podem oferecer e, até, quantificá-los.

Este estudo de prospecção geoquímica trouxe à luz a vital necessidade de investimento em mapeamento geoquímico e geológico de detalhe no Estado do Rio de Janeiro, apontando ocorrência de associações metalogenéticas típicas (Cu-Pb-Zn, Al-K-Li-Sn) cujas fontes geológicas ainda não foram identificadas por mapeamentos e estudos anteriores. Ademais, escala de mapeamento adotada neste trabalho permitiu que a existência tais associações fosse verificada, mas ainda foi constatado que uma malha de amostragem mais densa pode dar margem a um estudo ainda mais frutífero e preciso.

Referências Bibliográficas

ALLOWAY, B.J. 1995. Heavy metals in soil. Springer, 2nd edition. 382p.

ALMEIDA, F.F.M. 1967. Origem e Evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 96 p. (Boletim 241).

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO-NEVES, B.B de; FUCK R.A. 1977. As províncias estruturais do Brasil. *In*: SBG, Simp Geol. Nordeste, 8, Bol. Esp., 12p.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO-NEVES, B.B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth-Sci. Rev.*, 17 : 1-29.

ANDRETTA, E.R.; VIANA, E.C.A.; MARMOS, J.L. 2011. Levantamento geoquímico de baixa densidade dos solos da bacia do Baixo Rio Mucajaí – RR. *In*: XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Simpósio de Geoquímica dos Países do MERCOSUL, Gramado. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Simpósio de Geoquímica dos Países do MERCOSUL. Gramado: Sociedade Brasileira de Geoquímica.

ATSDR 2013. Toxicological profile for uranium – Public Health Statement. Agency for Toxic Substances and Disease Registry – Division of Toxicology and Human Health Sciences.

ATSDR 1990. Toxicological profile for thorium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry - U.S. Public Health Service. In collaboration with U.S. Environmental Protection Agency.

BARCELLOS, C. 1995. Geodinâmica de Cádmio e Zinco na Baía de Sepetiba. 148 f. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

CAMPOS, M.L.; GUILHERME, L.R.G.; ANTUNES, A.S.; BORGES, K.S. 2013. Teor de arsênio e adsorção competitiva arsênio/fosfato e arsênio/sulfato em solos de minas Gerais, Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, Online. ISSN 0103-8478.

CAMPOS NETO, M.C.; FIGUEIREDO, M.C.H. 1995. The Rio Doce Orogeny, southeastern Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.*, **8**:143-162.

CASTILHOS, D. D.; VIDOR, C.; TEDESCO, M. 1999. Redução do cromo em solo suprido com lodo de curtume e cromo hexavalente. *Rev. Brasileira de Agrociência*. v.5, n.3, p. 228-32, set-dez .

CETESB 2001. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. Dorothy C. P. Casarini [*et al.*]. São Paulo. 73 p. + ap. : il. ; 30 cm. (Série Relatórios Ambientais).

CONAMA 2009. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84.

CORDANI, U.G.; DELHAL, J.; LEDENT, D. 1973. Orogenèses superposées dans le précambrien du Brésil Sud-Oriental (Etats de Rio de Janeiro et Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geociências*, v.3, p. 1-22.

COSTA, J. B. S. 2009. Determinação de As, Cd, Pb e Zn por voltametria no médio curso do Rio Paraíba do Sul – Itatiaia – RJ. 80 fls. Dissertação (Mestrado em geoquímica ambiental) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geologia, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.

CPRM 2000. Mapa geológico do estado do Rio de Janeiro, escala 1:500.000. Hélio Canejo da Silva Cunha [*et al.*]; organizador Luiz Carlos da Silva [*et al.*]. Disponível em

http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/rj/geologico/geologia_mpgeologica.pdf. Acesso em 29/09/2013.

CPRM 2007. Geologia da folha Barra do Piraí SF.23-Z-A-III, estado do Rio de Janeiro, escala 1:100.000. Monica Heilbron [*et al.*]; organizador Luiz Carlos da Silva. Brasília. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em 29/09/2013.

CPRM 2007. Mapa Geológico Folha Volta Redonda SF.23-Z-A-V, estado do Rio de Janeiro, escala 1:100.000. Luiz Guilherme do Eirado Silva [*et al.*]; organizador Luiz Carlos da Silva. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em 29/09/2013.

CPRM 2009. Mapa Geológico Folha Nova Friburgo SF.23-Z-B-II, estado do Rio de Janeiro, escala 1:100.000. Miguel Tupinambá [*et al.*]; organizador Luiz Carlos da Silva. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em 29/09/2013.

CPRM 2012 Geologia e recursos minerais da folha Casimiro de Abreu SF.23-Z-B-I, estado do Rio de Janeiro, escala 1:100.000. Mauro Cesar Geraldês [*et al.*]; organizador Luiz Carlos da Silva. Belo Horizonte. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em 29/09/2013.

CPRM 2012 Geologia e recursos minerais da folha São Fidélis SF.24-V-C-IV, estado do Rio de Janeiro, escala 1:100.000. José Renato Nogueira [*et al.*]; organizador Luiz Carlos da Silva. Belo Horizonte. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em 29/09/2013.

CPRM 2012. Geologia e recursos minerais da folha Santo Antônio de Pádua SF.26-X-D-VI, estado do Rio de Janeiro, escala 1:100.000. Monica Heilbron [*et al.*]; organizador Luiz Carlos da Silva. Belo Horizonte. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em 29/09/2013.

DARNLEY, A.G.; BJÖRKLUND, A.; BOLVIKEN, B.; GUSTAVSSON, N.; KOVAL, P.V.; STEENFELT, A.; TAUCHID, M.; XUEJING, X. 1995. A global geochemical database for

environmental and resource management: recommendations for International Geochemical Mapping. Paris: UNESCO Publ. Final report of the IGCP Project 259.

DELGADO, I.M.; SOUZA, J.D.; SILVA, L.C.; FILHO, N.C.S.; SANTOS, R.A.; PEDREIRA, A.J.; GUIMARÃES, J.T.; ANGELIM, L.A.; VASCONCELOS, A.M.; GOMES, I.P.; FILHO, J.V.L.; VALENTE, C.R.; PERROTTA, M.M.; HEINECK, C.A. 2003. Geotectônica do escudo atlântico. In: Geologia Tectônica e Recursos Minerais do Brasil – Texto, mapas e SIG. Org.: Luiz A. Bizzi, Carlos Schobbenhaus, Roberta M. Vidotti, João H. Gonçalves. Brasília - CPRM.

EIRADO, L.G.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.C.H. 2006. Os Terrenos Tectônicos da Faixa Ribeira na Serra da Bocaina e na Baía da Ilha Grande, Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. v.36, n. 3. p. 426-436, setembro de 2006.

EMBRAPA 2009. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. 412p.

FERREIRA, M. M., 2010. Estimativa dos fluxos de Zn, Cd, Pb e Cu no Saco do Engenho, Baía de Sepetiba, RJ. 99f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental). Programa de Pós Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal Fluminense, Niterói.

FIGUEIREDO, B. R. de., 2008. In: Entrevista. *Jornal da UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas* – 14 de julho a 2 de agosto. Consultado em 29/09/2013. Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/ju402pag15.pdf

FILHO A.C.; LUMBREIRAS, J.F.; SANTOS, R.D. 2000. Os Solos do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, CPRM, 1 CD-Rom.

FRANZEN, M., LIMA, E. de A. M., CAVALCANTE, R., COSTA S. dos S. 2011. Mapa geoquímico preliminar de baixa densidade do fósforo em solos e sedimentos de drenagem do estado de Pernambuco. In: XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Simpósio de Geoquímica dos Países do MERCOSUL, Curitiba. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Simpósio de Geoquímica dos Países do MERCOSUL. Gramado: Sociedade Brasileira de Geoquímica.

GEO Brasil 2002. Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil / Organizado por Thereza Christina Carvalho Santos e João Batista Drummond Câmara. Brasília: Edições IBAMA. 440 p.: il. ISBN 85 - 7300 - 144 – 5.

GUIMARÃES, P.V. 2001. Geologia e magnetometria do corpo metaultrabásico de Carmo, RJ. 74f. Monografia (Graduação) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HACKSPACHER, P.C.; RIBEIRO, L.F.B.; RIBEIRO, M.C.S.; FETTER, A.H.; HADLER NETO, J.C.; TELLO, C.A.S.; DANTAS, E.L. 2004. Consolidation and breakup of the South American Platform in Southeastern Brazil: Tectonothermal and denudation histories. Gond. Res., 7: 91-101.

HEILBRON, M. 1993. Evolução tectono-metamórfica da seção Bom Jardim de Minas (MG) – Barra do Piraí (RJ): Setor Central da Faixa Ribeira. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 268 p.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C.; VALLADARES, C.S.; MACHADO, N. 1995. A orogênese brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. Rev.Bras. Geoc., 5(4):249-266.

HEILBRON, M.; DUARTE, B.P.; NOGUEIRA, J.R. 1998. The Juiz de Fora complex of the Central Ribeira belt, SE Brazil: a segment of Palaeoproterozoic granulitic crust thrust during the Pan-African Orogen. *Gondwana Research*, **1**: 373-382.

HEILBRON, M. ; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C.M. ; MILANI, E. ; ALMEIDA, J.C.H. ; TUPINAMBÁ, M. 2000. From collision to extension: the roots of the south-eastern continental margin of Brazil. In: Talwani & Mohriak (eds.) *Atlantic Rifts and Continental Margins*. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series, 115:1-34.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. 2003. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Res.*, **125**: 87-112.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; NETO, M.C.C.; SILVA, L.C. da; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R Brito Neves, B.B. (Orgs.). *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda., 1ª ed., v. 1, p. 203-234.

INEA 2013. Arranjos Regionais para Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro. Sem Escala. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=926885>.

LEVINSON, A.A. 1980. *Introduction to Exploration Geochemistry*, 2nd edition, 2 partes, 924 p., Applied Publishing, EUA.

LICHT, O. A. B. 1998. *Prospecção Geoquímica - Princípios, técnicas e métodos*. 1ª Ed. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. v. 01, 216 p.

LIMA, E.A.M.; FRANZEN, M.; CAVALCANTE, R.; CUNHA, F.G.; COSTA, S.S. 2011. O projeto geoquímica multiusos da CPRM no estado de Pernambuco – objetivos e estágio atual dos trabalhos. In: XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Simpósio de Geoquímica dos Países do MERCOSUL, Gramado. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Simpósio de Geoquímica dos Países do MERCOSUL. Gramado: Sociedade Brasileira de Geoquímica.

LOSI, E.; AMRHEIN, C.; FRANKENBERGER, W.T.J. 1994. Environmental biochemistry of chromium. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 136: 91-131.

MARANHÃO, R.J.L. 1985. Introdução à Pesquisa Mineral, Banco do Nordeste do Brasil, ETENE, Fortaleza, 796p.

MATOS, W.O.; NÓBREGA, J.A.; SOUZA, G.B. de; NOGUEIRA, A.R.A. 2008. Especiação redox de cromo em solos acidentalmente contaminados com solução sulfocrômica. *Quim. Nova*, v. 31, n. 6, p. 1450-1454.

MINEROPAR, 2005. Geoquímica de Solo - Horizonte B: Relatório final de projeto. Organização: Otávio Augusto Boni Licht e Rafael André Belotto Plawiak. Curitiba: Mineropar, 2v.

OLIVEIRA, T. S. de. 1999. Metais Pesados como Indicadores de Materiais de Origem em uma Topolitosequência do Triângulo Mineiro, Estado De Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.34, n.8, p.1451-1465, ago.

PACIULLO, F.V.P.; RIBEIRO, A.; ANDREIS, R.R.; TROUW, R.A.J. 2000. The Andrelândia Basin, a Neoproterozoic intraplate continental margin, southern Brasília belt. *Rev. Bras. Geoc.*, **30**(1):200-202.

PAYE, H. de S.; MELLO, J.W.V. ; ABRAHAO, W.A.P. ; FILHO, E.I.F.; DIAS, L.C.P.; CASTRO, M.L.O.; MELO, S.B.M.; FRANÇA, M.M. 2010. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo. R. Bras. Ci. Solo, v. 34, p. 2041-2051.

PEREIRA, M.G.; PÉREZ, D.V.; VALLADARES, G.S.; SOUZA, J.M.P.F.; ANJOS, L.H.C. 2001. Comparação de métodos de extração de cobre, zinco, ferro e manganês em solos do Estado do Rio de Janeiro. R. Bras. Ci. Solo, v.25, p. 655-660.

PÉREZ, D.V.; SALDANHA, M.F.C.; MENEGUELLI, N.A.; MOREIRA, J.C.; VAITSMAN, D.S. 1997. Geoquímica de alguns solos brasileiros. Pesq. and. CNPS, n.4, outubro, p.1-14.

PETERNEL, R.; TROUW, R.A.J.; SCHMITT, R.S. 2005. Interferência entre duas faixas móveis Neoproterozóicas : o caso das faixas Brasília e Ribeira no sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n. 3, p. 297-310, setembro.

RAMALHO, J.F.G.P.; SOBRINHO, N.M.B.A. 2001. Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. Floresta e Ambiente. v. 8, n.1, p.120 - 129, jan./dez.

RIBEIRO, A.; TROUW, R.A.J.; ANDREIS, R.R.; PACIULLO, F.V.P.; VALENÇA, J.G. 1995. Evolução das bacias Proterozóicas e o termo-tectonismo brasileiro na margem sul do Cráton do São Francisco. Rev. Bras. Geoc., **25**: 235-248.

RODRIGUES, A.S.L.; MALAFAIA, G. 2008. Efeitos da exposição ao Arsênio na Saúde Humana. Rev. Saúde; v. 4, n. 2, p. 148-159.

SANTOS, M.C.B. 2011. Avaliação da contaminação por metais em solos impactados pela disposição de rejeitos industriais: estudo de caso. 77 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica

Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

SANTOS F.S.; SOBRINHO N.M.B.A. do; MAZUR N. 2002 Influência de diferentes manejos agrícolas na distribuição de metais pesados no solo e em plantas de tomate. R. Bras. Ci. Solo, v. 26, p. 535-543.

SANTOS, A.C.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, H.C.; BERNINI, T.A.; COOPER, M.; NUMMER, A.R.; FRANCELINO, M.R. 2010. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros no médio vale do Paraíba do Sul, RJ. R. Bras. Ci. Solo, v. 34, p. 1297-1314. Rio de Janeiro.

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; VAN SCHMUS, W.R.; PIMENTEL, M.M. 2004. Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collisional orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). Precambrian Res., **133**:29-61.

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; MEDEIROS, S.R.; DANTAS, E. 2008. Age and geotectonic setting of Late-Neoproterozoic juvenile mafic gneisses and associated paragneisses from the Ribeira Belt (SE Brazil): geochemistry and Sm-Nd data - implications on Gondwana assembly. Gondwana Research, 13: 502-515.

SCHRAUZER, G.N. 2002. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. Journal of the American College of Nutrition, vol. 21, n. 1, 14-21.

SELINUS, O.; FINKELMANN, R.B. 2011. Geochemical aspects of medical geology. Journal of the Geological Society of Sri Lanka, vol. 14, 01-09.

SILVA, C. R. da; MELLO, E. F.; ALMEIDA, C. N. de 2012. Proposta para avaliação de riscos geológicos à saúde ambiental em áreas de mineração. Rev. bras. geociênc. [online]. v.42, n.2, p. 303-32.

SILVA, M.M.; ANDRADE, G.T. 2009. Mercúrio na bacia do rio Muriaé no trecho entre as cidades patrocínio de Muriaé e Itaperuna, nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, Brasil.

SORENSEN, J.R.J.; CAMPBELL, I.R.; TEPPER, L.B.; LINGG, R.D. 1974. Aluminum in the Enviroment and Human Health. Environm. Health Persp., vol. 8, 3-95.

SPARKS, D. L. 2001. Dynamics of K in soils and their role in management of K nutrition. In: International Potash Institute PR II K in nutrient management for sustainable crop production in India, New Delhi, India, 03–05 Dec.

TEBALDI, F.L.H.; SILVA, J.F.C.; VASQUEZ, H.M.; THIEBAUT, J.T.L. 2000. Composição Mineral das Pastagens das Regiões Norte e Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. 2. Manganês, Ferro, Zinco, Cobre, Cobalto, Molibdênio e Chumbo. Rev. bras. zootec., v. 29, n.2, p.616-629.

TUBBS, D.; MARQUES, E.D.; GOMES, O.V.O.; SILVA-FILHO, E.V. 2011. Impacto da mineração de areia sobre a química das águas subterrâneas, distrito areeiro da Pirarema, municípios de Itaguaí e Seropédica, Rio de Janeiro. Rev. Bras. Geoc., 41 (3): 472-485.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B.P.; NOGUEIRA, J.R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L.G.E.; MEDEIROS, S.R.; ALMEIDA, C.G.; MIRANDA, A.; RAGATKY, C.D.; MENDES, J.; LUDKA, I. 2007. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e Conexões com a Faixa Araçuai. Geonomos. v. 15, n. 1, p 67 – 79.

VALADARES, J. M. A. S. 1975. Cobre em Solos do Estado de São Paulo. *Bragantia* – Revista Científica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. Campinas – SP. v. 34, n.4, p. 125 – 132. Março.

VENDRAME, P.R.S.; BRITO, O.R.; QUANTIN, C.; BECQUER, T. 2007. Disponibilidade de cobre, ferro, manganês e zinco em solos sob pastagens na Região do Cerrado. Brasília. *Pesq. agropec. bras.*, v.42, n.6, p.859-864, jun.

VIGLIO, E.P. 2013. Projeto geoquímica multiuso no estado da Bahia: A bacia do rio Subaé. Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Apresentação de conclusão de projeto).

VIGLIO, E.P.; CUNHA, F.G. 2010. O Atlas Geoquímico da Bacia do Rio das Velhas. Papel e CD. 196p. 51 Mapas de solo, 53 Mapas de sedimento, 32 Mapas de água de superfície e 27 mapas de água de abastecimento público. CPRM.

WEDEPOHL, K.H. 1995. The composition of the continental crust. *Geoch. and Cosmoch. Acta*, vol. 59, issue 7, 1217-1232.

WENZEL, W.W. ; BRANDSTETTER, A.; WUTTE, H.; LOMBI, E.; PROHASKA, T.; STINGEDER, G.; ADRIANO, D.C. 2002. Arsenic in field-collected soil solution and extracts of contaminated soils and its implication to soil standards. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 165, issue 2: 221-228.

WINTER, M. 1998. Webelements. In: <http://webelements.com/phosphorus/geology.html>.